



**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA ESPERANZA A LA ALTURA DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GACHETÁ, DESDE LA COORDENADA E: 1.049.907 M N: 1.024.374 M, HASTA LA COORDENADA E: 1.049.440 M N: 1.023.772 M, PARA UNA LONGITUD APROXIMADA DE 900 M.**

**NOVIEMBRE 2020**

## TABLA DE CONTENIDO

FASE 1.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE CAMPO.....	11
1.1	Compilación de Información Cartográfica.....	13
1.2	Análisis de distribución predial y composición predial .....	15
1.2.1	Recolección de información. ....	15
1.2.2	Análisis de la información recolectada .....	15
1.3	Revisión sobre disposición o restricciones de uso y aptitud del suelo .....	25
1.4	Recopilación y análisis de instrumentos de gestión ambiental .....	30
1.5	Socialización a la comunidad .....	32
1.5.1	Actores Clave .....	33
1.5.2	Convocatoria.....	34
1.5.3	Agenda.....	34
1.5.4	Cartografía Social y SIG Participativo .....	35
1.5.5	Resultados.....	35
1.5.6	Conclusiones.....	38
FASE 2.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO .....	40
2.1	Equipos y elementos .....	42
2.2	Planeación del posicionamiento GNSS .....	43
2.2.1	Localización y materialización de vértices de apoyo .....	44
2.2.2	Posicionamiento GNSS .....	45
2.2.3	Procesamiento de información GNSS .....	46
2.2.4	Resultado del procesamiento GNSS .....	48
2.3	Levantamiento convencional .....	51
2.3.1	Procesamiento del levantamiento convencional.....	52
2.3.2	Amarre de todos los datos levantados en campo a cotas reales sobre el nivel del mar 52	
FASE 3.	LEVANTAMIENTO LIDAR .....	53
3.1	Equipos y elementos .....	54
3.1.1	Procedimiento en campo .....	54
3.1.2	Datos del levantamiento.....	55

3.1.3	Procesamiento de información .....	58
3.1.4	Resultados.....	59
FASE 4.	GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL Y MODELO DIGITAL DEL TERRENO MDT.	61
4.1	Generación DEM .....	62
4.1.1	Cartografía digital .....	63
4.1.2	Corrección de cauces e integración con los datos batimétricos .....	64
4.1.3	Generación de curvas de nivel .....	64
4.1.4	Captura de puntos representativos del terreno .....	64
4.1.5	Estructura GDB.....	64
FASE 5.	MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA .....	67
5.1	Caracterización hidrográfica de la quebrada La Esperanza y su cuenca aferente .....	68
5.1.1	Aspectos generales.....	68
5.1.2	Parámetros físicos de la cuenca.....	70
5.1.3	Parámetros de forma de la cuenca .....	70
5.1.4	Características de relieve de la cuenca .....	73
5.1.5	Características del sistema de drenaje .....	76
5.1.6	Tiempo de concentración .....	78
5.1.7	Índices morfométricos de la cuenca.....	80
5.1.8	Conclusiones.....	81
5.2	Revisión y análisis de eventos históricos de crecientes e inundaciones en la quebrada La Esperanza.....	82
5.3	Identificación de estaciones hidrológicas localizadas en el área de estudio .....	83
5.3.1	Información hidrometeorológica.....	83
5.4	Caracterización climatológica de la quebrada La Esperanza en el área de estudio .....	84
5.4.1	Precipitación .....	85
5.4.2	Temperatura.....	87
5.4.3	Brillo solar .....	87
5.4.4	Evaporación .....	88
5.4.5	Humedad relativa .....	89
5.5	Caracterización hidrológica de la quebrada La Esperanza en el área de estudio .....	90

5.5.1	Análisis de frecuencia de lluvias máximas en 24 horas y determinación del aguacero 91	
5.5.2	Determinación de las crecientes para diferentes periodos de retorno .....	93
5.5.3	Crecientes máximas obtenidos para la cuenca aportante .....	102
5.6	Modelación hidráulica para la quebrada La Esperanza .....	104
5.6.1	Configuración del modelo hidrodinámico 2D .....	104
5.6.2	Discretización del dominio 2D .....	104
5.6.3	Condiciones de borde e iniciales del modelo .....	106
5.6.4	Coeficientes de rugosidad.....	107
5.6.5	Resultados del modelo hidráulico .....	108
5.6.6	Conclusiones.....	130
FASE 6.	DELIMITACIÓN DEL CAUCE PERMANENTE .....	132
6.1	Delimitación del cauce permanente en sistemas lóticos.....	133
6.1.1	Delimitación de las geoformas asociadas al cauce permanente, Escala 1:25.000 ..	134
6.1.2	Delimitación de las geoformas asociadas al cauce permanente, Escala 1:2.000 ....	135
FASE 7.	DEFINICIÓN DEL LÍMITE FUNCIONAL DE LA RONDA.....	148
7.1	Componente Geomorfológico de la Ronda Hídrica.....	149
7.1.1	Metodología .....	150
7.1.2	Condiciones del patrón de drenaje del área de estudio .....	154
7.1.3	Condiciones geomorfológicas del área de estudio.....	154
7.1.4	Jerarquización geomorfológica .....	164
7.1.1	Delimitación de las geoformas asociadas al límite funcional de la ronda, Escala 1:2.000	175
7.2	Componente Hidrológico de la Ronda Hídrica .....	181
7.3	Componente Ecosistémico de la Ronda Hídrica.....	185
7.3.1	Metodología .....	185
7.3.2	Coberturas vegetales y uso del suelo .....	190
7.3.3	Zonas de importancia estratégica .....	198
7.3.1	Vegetación.....	199
7.3.2	Índice de valor de importancia (IVI) .....	200

7.3.3	Delimitación de la ronda desde el componente ecosistémico .....	201
7.4	Caracterización económica y social.....	206
7.4.1	Usos de las zonas aledañas al cauce permanente.....	207
7.4.2	Niveles de ocupación y uso de los recursos naturales .....	207
7.5	Delimitación de la Ronda Hídrica.....	208
7.5.1	Faja paralela y área de conservación aferente .....	210
FASE 8.	ÁREAS DE MANEJO DE LA RONDA HÍDRICA .....	212
8.1	Zonificación de manejo.....	213
8.2	Compatibilidad de usos.....	216
8.2.1	Zonas de preservación: .....	216
8.2.2	Zonas de restauración:.....	216
8.2.3	Zonas de uso sostenible .....	217

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Información cartográfica utilizada para el presente estudio .....	13
Tabla 2.	Composición predial del área de estudio .....	15
Tabla 3.	Usos del suelo en los predios del área de estudio .....	19
Tabla 4.	Predios con captaciones o vertimientos identificados en el área de estudio .....	24
Tabla 5.	Uso del Suelo para el área de estudio según POMCA del río Guavio .....	26
Tabla 6.	Conflictos de uso del suelo para el área de estudio según el POMCA del río Guavio .....	26
Tabla 7.	Zonificación ambiental para el área de estudio .....	28
Tabla 8.	Análisis de información documental secundaria .....	30
Tabla 9.	Actores clave identificados en el área de estudio .....	33
Tabla 10.	Reunión socialización inicial.....	34
Tabla 11.	Tiempo de rastreo .....	46
Tabla 12.	Coordenadas geocéntricas SIRGAS semana 2073.....	46
Tabla 13.	Coordenadas de los deltas, auxiliares y puntos de control tomados por RTK.....	48
Tabla 14.	Cuadro de coordenadas Gauss Krueger época 2018.0. ....	49
Tabla 15.	Datos obtenidos durante el levantamiento LIDAR .....	56
Tabla 16.	Datos de la cámara.....	57
Tabla 17.	Coefficientes de calibración y matriz de correlación.....	57
Tabla 18.	Resumen de los parámetros de procesamiento.....	60
Tabla 19.	Parámetros del sistema de coordenadas MAGNA_SIRGAS .....	64
Tabla 20.	Índice de compacidad para la evaluación de la forma .....	71
Tabla 21	Clasificación del factor de forma .....	72
Tabla 22.	Índice de alargamiento .....	72
Tabla 23.	Índice asimétrico .....	73

Tabla 24. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente .....	74
Tabla 25. Cálculo del tiempo de concentración para la cuenca de la quebrada La Esperanza .....	80
Tabla 26. Parámetros morfométricos .....	81
Tabla 27. Parámetros de forma .....	81
Tabla 28. Estaciones hidrometeorológicas .....	83
Tabla 29. Valores mensuales de precipitaciones máximas con Diferentes Períodos de Retorno. Estación Gachetá (mm).....	92
Tabla 30. Precipitaciones máximas mensuales con Diferentes Períodos de Retorno con la distribución seleccionada. Estación Gachetá .....	93
Tabla 31. Área de la cuenca .....	94
Tabla 32. Distribución temporal de la lluvia adoptada.....	95
Tabla 33. Determinación del cubrimiento vegetal en la cuenca de la quebrada La Esperanza .....	96
Tabla 34. Condiciones de humedad antecedente a la lluvia. ....	100
Tabla 35. Valor del CN de la cuenca quebrada La Esperanza .....	101
Tabla 36. Resultados del modelo hidrológico .....	102
Tabla 37. Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 2.33 años .....	110
Tabla 38. Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 5 años .....	112
Tabla 39. Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 10 años .....	115
Tabla 40. Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 15 años .....	118
Tabla 41. Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 25 años .....	122
Tabla 42. Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 50 años .....	125
Tabla 43. Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 100 años .....	127
Tabla 44. Insumos para la interpretación multitemporal geomorfológica a escala 1:2.000 .....	135
Tabla 45. Puntos de control para la verificación del cauce permanente .....	137
Tabla 46. Puntos de control para la verificación en terreno de los diferentes tipos de morfología.....	153
Tabla 47. Unidades, subunidades y componentes geomorfológicos del área de estudio .....	167
Tabla 48. Jerarquización geomorfológica para el área de estudio.....	173
Tabla 49. Unidades geomorfológicas asociadas a la ronda hídrica de la quebrada la esperanza .....	176
Tabla 50. Criterios y tipo de corriente de la quebrada La Esperanza.....	179
Tabla 51. Coberturas identificadas dentro del área de estudio .....	190
Tabla 52. Especies de plantas identificadas en la franja de estudio .....	199
Tabla 53. Cálculo del IVI para las especies reportadas en las parcelas .....	200
Tabla 54. Resultados del parámetro estructural H.....	201
Tabla 55. Valor de N según la cuenca y la densidad de drenaje.....	203
Tabla 56. Cálculo del componente ecosistémico para la ronda hídrica .....	203
Tabla 57. Tipos de coberturas en el área de estudio .....	207
Tabla 58. Usos del suelo en áreas antropizadas.....	207
Tabla 59. Proporción de áreas por categoría de zonificación para la ronda hídrica definida.....	215
Tabla 60. Recomendaciones de uso para zonas de preservación.....	216
Tabla 61. Recomendaciones de uso para zonas de restauración .....	217
Tabla 62. Recomendaciones de uso para zonas definidas de uso sostenible .....	217

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de la zona de acotamiento hídrica Quebrada La Esperanza .....	12
Figura 2. Cartografía base del área de estudio .....	14
Figura 3. Distribución predial de la zona de estudio .....	16
Figura 4. Áreas construidas dentro del área de estudio .....	17
Figura 5. Composición predial encuestas.....	18
Figura 6. Usos reportados de los predios ubicados en el área de estudio.....	20
Figura 7. Usos especiales encontrados en el área de estudio.....	23
Figura 8. Usos del suelo en los predios visitados.....	23
Figura 9. Predios donde se registran captaciones y vertimientos.....	24
Figura 10. Capacidad y conflictos de uso del suelo .....	27
Figura 11. Zonificación Ambiental .....	29
Figura 12. Registro fotográfico de la actividad de socialización .....	36
Figura 13. Línea de tiempo construida con los miembros de la comunidad .....	36
Figura 14. Mapa resultante del proceso participativo de la cartografía social .....	38
Figura 15. Localización del eje de levantamiento de la quebrada La Esperanza.....	41
Figura 16. Estación total TOPCON GTS233W.....	42
Figura 17. Receptor GNSS LEICA GPS 1200+.....	42
Figura 18. Localización GARA, BOGA y GPS 1.....	43
Figura 19. Punto base GPS 1.....	44
Figura 20. Puntos de referencia y de control.....	45
Figura 21. Esquema de puntos GNSS levantados.....	47
Figura 22. Levantamiento de información topográfica con Estación Topcon GTS 233W.....	51
Figura 23. Esquema de levantamiento de detalles por estación total.....	52
Figura 24. Phantom 4 Pro.....	54
Figura 25. Fotocontrol.....	55
Figura 26. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.....	56
Figura 27. Puntos de control terrestres.....	58
Figura 28. Ortomosáico generado.....	59
Figura 29. MDT quebrada La Esperanza y área aferente.....	62
Figura 30. Cartografía digital.....	63
Figura 31. Estructura GDB .....	65
Figura 32. Curva hipsométrica cuenca de la quebrada La Esperanza.....	75
Figura 33. Clasificación de los ríos de acuerdo a la curva hipsométrica.....	76
Figura 34. Perfil del cauce cuenca de la quebrada La Esperanza.....	77
Figura 35. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas .....	84
Figura 36. Precipitación total mensual estación Gachetá .....	86
Figura 37. Precipitación media anual en la cuenca.....	86
Figura 38. Temperatura mínima, media y máxima multianual estación Gachetá.....	87
Figura 39. Brillo solar total mensual estación Gachetá.....	88
Figura 40. Evaporación total mensual estación Gachetá.....	89
Figura 41. Humedad relativa mensual estación Gachetá.....	90

Figura 42. Ajuste de distribuciones de probabilidad precipitación máximos mensuales .....	92
Figura 43. Cobertura vegetal de la cuenca de la quebrada La Esperanza .....	96
Figura 44. Suelos de la cuenca de la quebrada La Esperanza .....	99
Figura 45. Hidrograma de creciente para un periodo de retorno de 2.33 años Quebrada La Esperanza. ...	103
Figura 46. Hidrograma de creciente para un periodo de retorno de 15 años Quebrada La Esperanza. ....	103
Figura 47. Hidrograma de creciente para un periodo de retorno de 100 años Quebrada La Esperanza. ....	104
Figura 48. Modelo De Elevación digital.....	105
Figura 49. Condiciones de Frontera a) .....	106
Figura 50. Perfil del Terreno.....	109
Figura 51. Trazado del perfil del terreno .....	109
Figura 52. Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua Tr 2.33 años.....	110
Figura 53. Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 2.33 años .....	111
Figura 54. Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 2.33 años.....	112
Figura 55. Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 5 años .....	113
Figura 56. Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 5 años .....	114
Figura 57. Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 5 años .....	115
Figura 58. Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 10 años.....	116
Figura 59. Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 10 años .....	117
Figura 60. Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 10 años .....	118
Figura 61. Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua Tr 15 años .....	119
Figura 62. Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 15 años .....	120
Figura 63. Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 15 años .....	121
Figura 64. Mancha de inundación del agua Tr 15 años – En los dos sitios de puentes. ....	121
Figura 65. Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 25 años.....	122
Figura 66. Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 25 años .....	123
Figura 67. Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 25 años .....	124
Figura 68. Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 50 años.....	125
Figura 69. Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 50 años .....	126
Figura 70. Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 50 años .....	127
Figura 71. Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua Tr 100 años.....	128
Figura 72. Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 100 años .....	129
Figura 73. Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 100 años.....	130
Figura 74. Determinación del cauce permanente .....	133
Figura 75. Cauce permanente a escala 1:25.000 (izquierda) y ampliación a escala 12.500 (derecha) .....	134
Figura 76. Verificación en terreno: puntos de control - etapa caracterización .....	138
Figura 77. Distribución espacial del cauce permanente .....	139
Figura 78. Sectores de análisis y geoformas asociadas al cauce permanente .....	140
Figura 79. Distribución espacial del cauce permanente para el año 2011.....	141
Figura 80. Distribución espacial del cauce permanente para el año 2007.....	142
Figura 81. Delimitación del Cauce permanente 2007 - 2011 - 2019 ampliación a urbanización La Esperanza .....	143
Figura 82. Resultado comparativo del cauce permanente (2007 - 2011 - 2019).....	144
Figura 83. Afloramiento de la Formación Fómez en la quebrada La Esperanza.....	145
Figura 84. Envoltorio final del cauce permanente (*).....	147

Figura 85. Ronda hídrica .....	148
Figura 86. Insumos, actividades y productos para definir las geoformas asociadas a la ronda hídrica.....	149
Figura 87. Esquema de jerarquización geomorfológica .....	151
Figura 88. Flujograma del proceso metodológico seguido para la elaboración del mapa geomorfológico ..	154
Figura 89. Forma del patrón de drenaje.....	154
Figura 90. Control estructural de la zona de estudio .....	156
Figura 91. Morfoestructuras de la zona de estudio.....	158
Figura 92. Erosión laminar y en surcos .....	159
Figura 93. Procesos de terraceo o pate vaca .....	160
Figura 94. Socavación y desplomes en la quebrada la esperanza.....	161
Figura 95. Zanjas de desagüe en la quebrada la esperanza.....	162
Figura 96. Dinámica regional de antiguos movimiento en masa .....	163
Figura 97. Distribución espacial de las subunidades de geomorfología al interior del área de estudio de la quebrada la esperanza.....	174
Figura 98. Insumos, actividades y productos para definir el componente geomorfológico de la zona de estudio .....	176
Figura 99. Límite físico de la ronda hídrica asociada al componente geomorfológico .....	178
Figura 100. Perfil topográfico de la zona de estudio de la quebrada La Esperanza (*).....	180
Figura 101. Insumos, actividades y productos para definir el componente hidrológico de la zona de estudio .....	181
Figura 102. Manchas de inundación en diferentes periodos de tiempo para la quebrada La Esperanza.....	182
Figura 103. Ampliación a la altura de la urbanización la esperanza .....	183
Figura 104. Delimitación de la ronda hídrica desde el componente hidrológico .....	184
Figura 105. Insumos, actividades y productos para definir el componente ecosistémico de la zona de estudio .....	186
Figura 106. Características ecosistémicas presentes en la región del Guavio.....	187
Figura 107. Zona de vida presente en el área de estudio .....	188
Figura 108. Porcentaje de coberturas presentes en el área de estudio .....	191
Figura 109. Cobertura y uso del suelo en la franja de estudio de la quebrada La Esperanza.....	197
Figura 110. Polígono de la ronda considerando los parámetros para una óptima funcionalidad .....	202
Figura 111. Delimitación de la ronda hídrica desde el componente ecosistémico.....	205
Figura 112. Envoltorio de los tres componentes de la ronda hídrica.....	209
Figura 113. Faja paralela y área de conservación aferente para la quebrada La Esperanza.....	211
Figura 114. Zonificación de manejo para la ronda hídrica definida de la quebrada Esperanza. ....	215

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Escenarios recreacionales en el área de estudio.....	21
Fotografía 2. Centro de acopio de basuras .....	21
Fotografía 3. Salón comunal.....	21
Fotografía 4. Colegio Monseñor Abdón López .....	22
Fotografía 5. Bodega de almacenamiento .....	22
Fotografía 6. Planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR .....	22

Fotografía 7. Franja de vegetación riparia de la quebrada La Esperanza (E:1049684 – N:1024238) .....	189
Fotografía 8. Problemática por basuras .....	189
Fotografía 9. Problemática por erosión.....	189
Fotografía 10. Tejido urbano discontinuo en la franja de estudio .....	192
Fotografía 11. Vías ubicadas en la franja de estudio .....	193
Fotografía 12. Pastos arbolados presentes en la franja de estudio .....	193
Fotografía 13. Pastos enmalezados presentes en la franja de estudio .....	194
Fotografía 14. Mosaico de pastos y cultivos presentes en la franja de estudio .....	194
Fotografía 15. Cultivos transitorios presentes en la franja de estudio .....	195
Fotografía 16. Bosque fragmentado presente en la franja de estudio .....	195
Fotografía 17. Bosque de galería en la zona riparia del río Gachetá .....	196
Fotografía 18. Río Gachetá en el que desemboca la quebrada La Esperanza .....	196
Fotografía 19. Aguas abajo del río Gachetá, cambia su nombre a río Guavio .....	198
Fotografía 20. Vegetación de la ronda en el tramo 1.....	204
Fotografía 21. Vegetación de la ronda en el tramo 2.....	204
Fotografía 16. Vegetación de la ronda en el tramo 3.....	204



**Somos VIDA**  
*Todos* Confianza  
Desarrollo

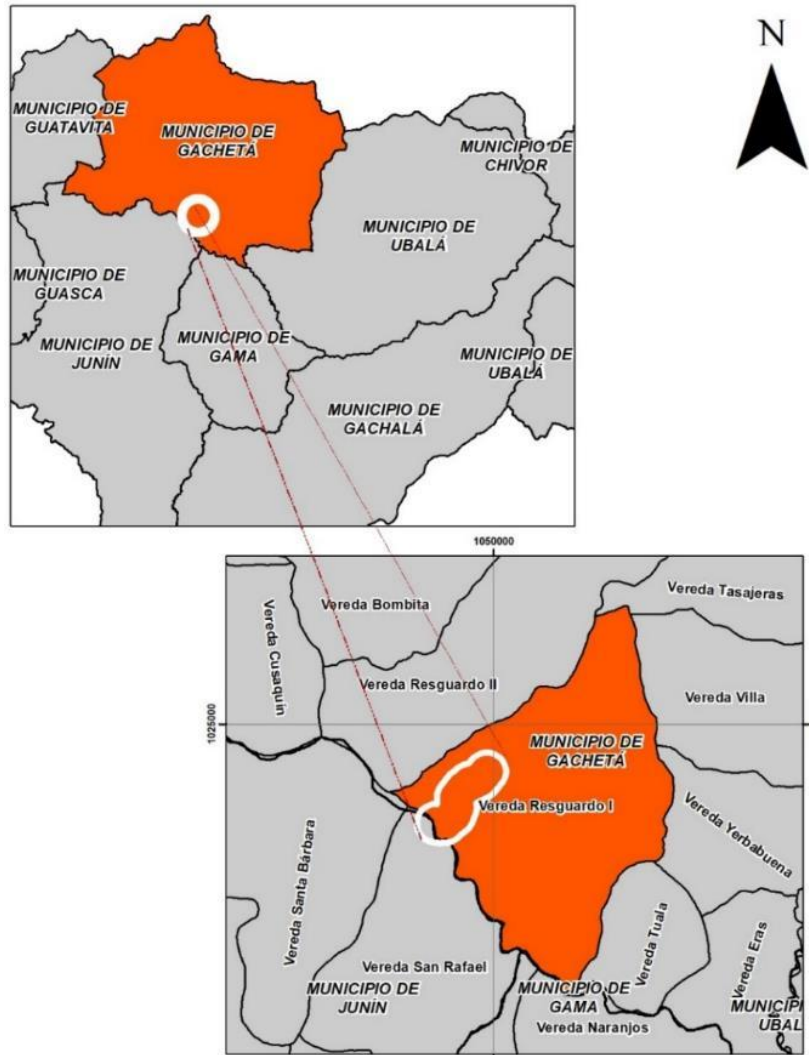
REALIZAR LOS ESTUDIOS NECESARIOS Y SUFICIENTES PARA EL ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA ESPERANZA A LA ALTURA DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GACHETÁ, DESDE LA COORDENADA E: 1.049.907 M N: 1.024.374 M, HASTA LA COORDENADA E: 1.049.440 M N: 1.023.772 M, PARA UNA LONGITUD APROXIMADA DE 900 M.



## FASE 1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE CAMPO



La zona de estudio cuenta con 73,65 hectáreas de terreno ubicadas en el departamento de Cundinamarca, en el costado sur del municipio de Gachetá, puntualmente en la zona occidental de la vereda El Resguardo I, como se presenta en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Localización general de la zona de acotamiento hídrica Quebrada La Esperanza  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Los estudios para el acotamiento de la ronda hídrica de La quebrada La Esperanza se realizan dentro de las siguientes coordenadas:

ESTE	NORTE
1.082.727m	1.018.368m
1.049.440m	1.023.772m

## 1.1 Compilación de Información Cartográfica

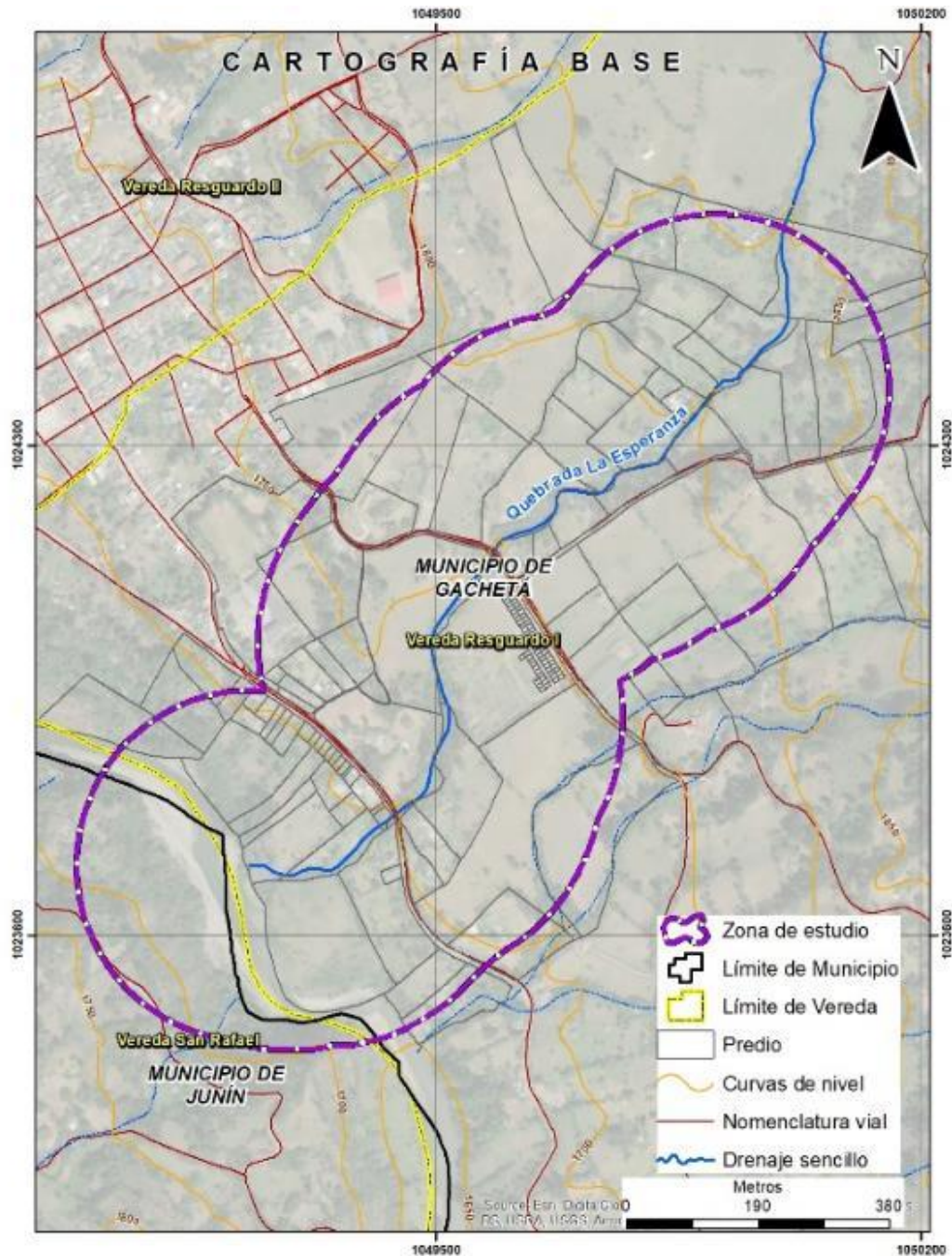
La cartografía base es aquella que se obtiene por procesos directos de medición y de observación de la superficie terrestre y es requerida para adelantar los estudios que permitan el acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada La Esperanza. Para el desarrollo del presente estudio, se utilizó la siguiente información cartográfica (ver **Tabla 1**).

**Tabla 1.** Información cartográfica utilizada para el presente estudio

Título del archivo	Año	Autor	Características de la información				Escala	Resumen
			P	F	A	C		
Cartografía base	2009	CORPOGUAVIO - IGAC	A	A	A	A	1:10.000	Información cartográfica base con insumos como relieve, curvas de nivel, registros catastrales, suelos, cuerpos de agua, uso del suelo.
Plancha 228IID3	s.f.	Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC	A	A	A	A	1:10.000	Información cartográfica base con insumos como relieve, curvas de nivel, registros catastrales, tipos de suelos, cuerpos de agua, drenajes sencillos, drenajes dobles, uso del suelo.
Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Guavio	2019	Corporación Autónoma Regional del Guavio "CORPOGUAVIO"	A	A	A	A	1:25.000	Cartografía temática entre la que se encuentran coberturas vegetales, uso del suelo, geología, geomorfología, hidrología.

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Entre los datos que se encuentran, se destacan límites político administrativos, corredores viales, cuerpos de agua, curvas de nivel cuya relación altitudinal se muestra cada 50 metros, por mencionar algunos. Dicha información se puede observar en la **Figura 2**.



**Figura 2.** Cartografía base del área de estudio  
 Fuente: Corpoaguavo - IGAC, 2009

## 1.2 Análisis de distribución predial y composición predial

### 1.2.1 Recolección de información.

Parte esencial de la ronda hídrica, lo constituye la identificación de usuarios que se encuentra en el área de estudio es decir a lo largo de la ronda hídrica, así como la identificación predial que consiste en su distribución y composición, la identificación de la infraestructura y de los usos. Para ello, la Consultoría estableció una serie de estrategias que, en conjunto, permitieran obtener unos resultados favorables en términos de completitud y recepción de información, que se describen a continuación:

- Preparar el formato de captura de información más completo y adecuado
- Socializar con las comunidades asentadas en la zona de estudio, el alcance y los momentos en los cuales se efectuará el censo.
- Capturar la información de manera masiva, con el uso de elementos tecnológicos adecuados, que faciliten el uso y administración georreferenciada de la información censal.
- Procesar de manera apropiada los resultados obtenidos, de tal manera que puedan ser utilizados para el desarrollo de todas las temáticas del proyecto

La recolección de la información se realizó en el área de estudio, que corresponde a una franja de 250 a lado y lado de la Quebrada la Esperanza.

### 1.2.2 Análisis de la información recolectada

En la zona de estudio se identificaron 157 lotes catastrales, cuya área varía entre los 54  $m^2$  hasta 60.000  $m^2$ . Del porcentaje total de ocupación del suelo, se encuentra que el 26% de los predios ubicados entre la franja presenta un área menor a 1 Ha, el 58% entre 1 y 3 Ha, y solamente el 16% cuenta con una extensión superior a las 3 Ha (ver **Tabla 2**).

**Tabla 2. Composición predial del área de estudio**

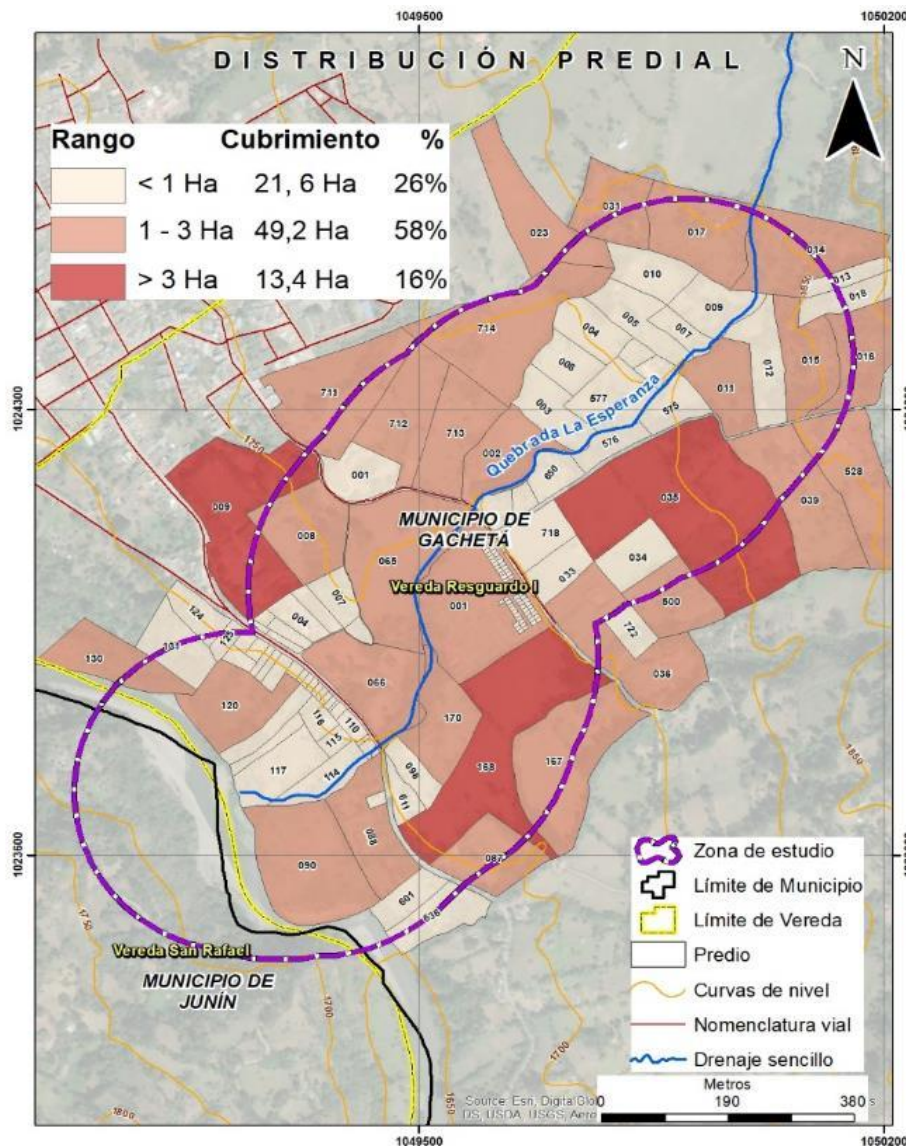
Rango	No. predios	Predios (%)	Extensión (Ha)	Ocupación del área (%)
Menores a 1Ha	127	81	21,66	26
Entre 1 y 3 Ha	27	17	49,27	58
Mayores a 3 Ha	3	2	13,36	16
<b>Total</b>	<b>157</b>	<b>100</b>	<b>84,29</b>	<b>100</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Adicionalmente en la tabla anteriormente presentada, se encuentra que, de los 157 lotes, el 81% se encuentra conformado por predios con extensiones inferiores a 1 Ha. No obstante, cabe destacar que de los predios que conforman este rango, 62, pertenecen a la urbanización La Esperanza y 29 se encuentran aledaños a la vía principal que conduce desde Gachetá hacia Ubalá.

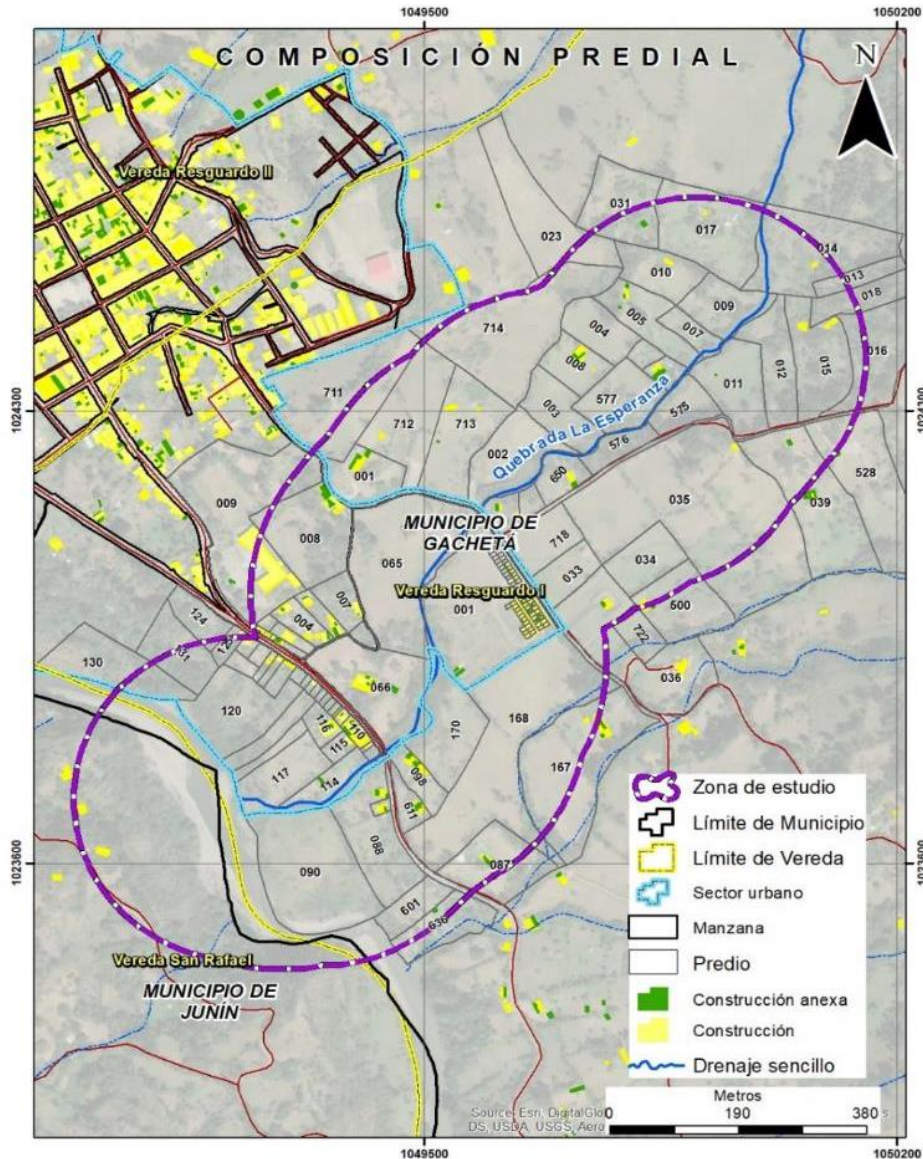
Respecto a los predios con una extensión mayor a 3 Ha, se encuentra que solo 3 de ellos ocupan el 16% del área de estudio, dichos predios se encuentran ubicados de forma dispersa, de manera que no se encuentran unidos uno con otro y conforman solamente el 2% de los lotes que tienen relación con el buffer planteado en el estudio.

Ahora bien, el mayor porcentaje del territorio se encuentra ocupado por predios cuya área oscila de 1 a 3 hectáreas con el 58% de ocupación del área de estudio, los cuales se distribuyen de manera uniforme hacia los límites del buffer de 250 metros. Estos lotes conforman el 17% del total de predios y ocupan en conjunto un área de 49,27 Ha. En la **Figura 3**, se presenta la distribución predial de la zona de estudio.



**Figura 3.** Distribución predial de la zona de estudio  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

De acuerdo a la base de datos catastral de edificaciones, en la zona de estudio se encuentran 106 construcciones con áreas que van desde los  $2m^2$  hasta  $170m^2$ , predominan aquellas con área inferior a  $40m^2$  y que cuentan con entre uno y dos pisos, adicionalmente se encuentran dos edificaciones de 3 pisos. Dicha información se corrobora posteriormente con el levantamiento Lidar y datos registrados en campo.

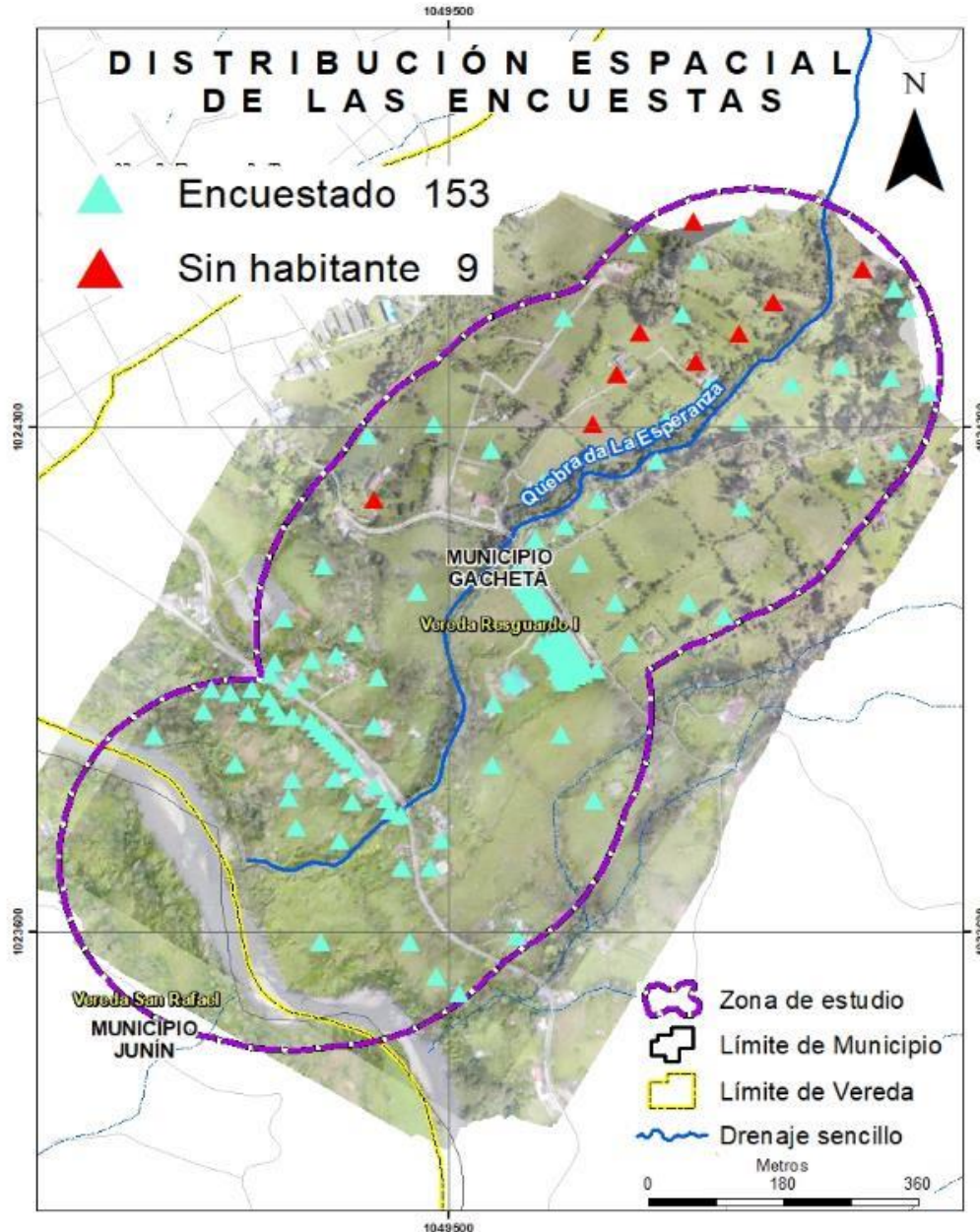


**Figura 4.** Áreas construidas dentro del área de estudio  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Respecto a las 38 construcciones anexas, se hace referencia a cobertizos, enramadas, parqueaderos, o infraestructura no asociada directamente a vivienda. No obstante, el registro de

estas fue corroborado por el personal de campo durante el desarrollo de las actividades de encuestas a la comunidad del área de estudio (ver anexo 1. Censo).

Sin embargo, de acuerdo a la información recopilada durante el censo georreferenciado realizado en el área de estudio, se reconocieron un total de 162 construcciones en el área de estudio aclarando que en algunos de los 157 predios identificados se encontraban dos viviendas (ver **Figura 5**).



**Figura 5.** Composición predial encuestas  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

De acuerdo a la información colectada, se tiene que en la franja de los 250 metros a ambos lados de la quebrada La Esperanza habitan 94 familias conformadas por aproximadamente 263 personas. Se hace la aclaración de que el número es aproximado, debido a que algunos de los predios visitados durante el levantamiento de información, son de descanso o no se encontraban personas que suministraran información al momento de la visita del personal.

En lo que refiere a los usos que los propietarios o residentes les dan a sus predios, se encuentra que 45,9% corresponde a uso residencial, esto se debe a que gran parte de los predios se encuentran en la urbanización La Esperanza. Seguido de ello, el 36,3% de los predios identificados, no cuentan con ningún uso, ya sea que se encuentren en abandono con pastos y sin actividades agropecuarias.

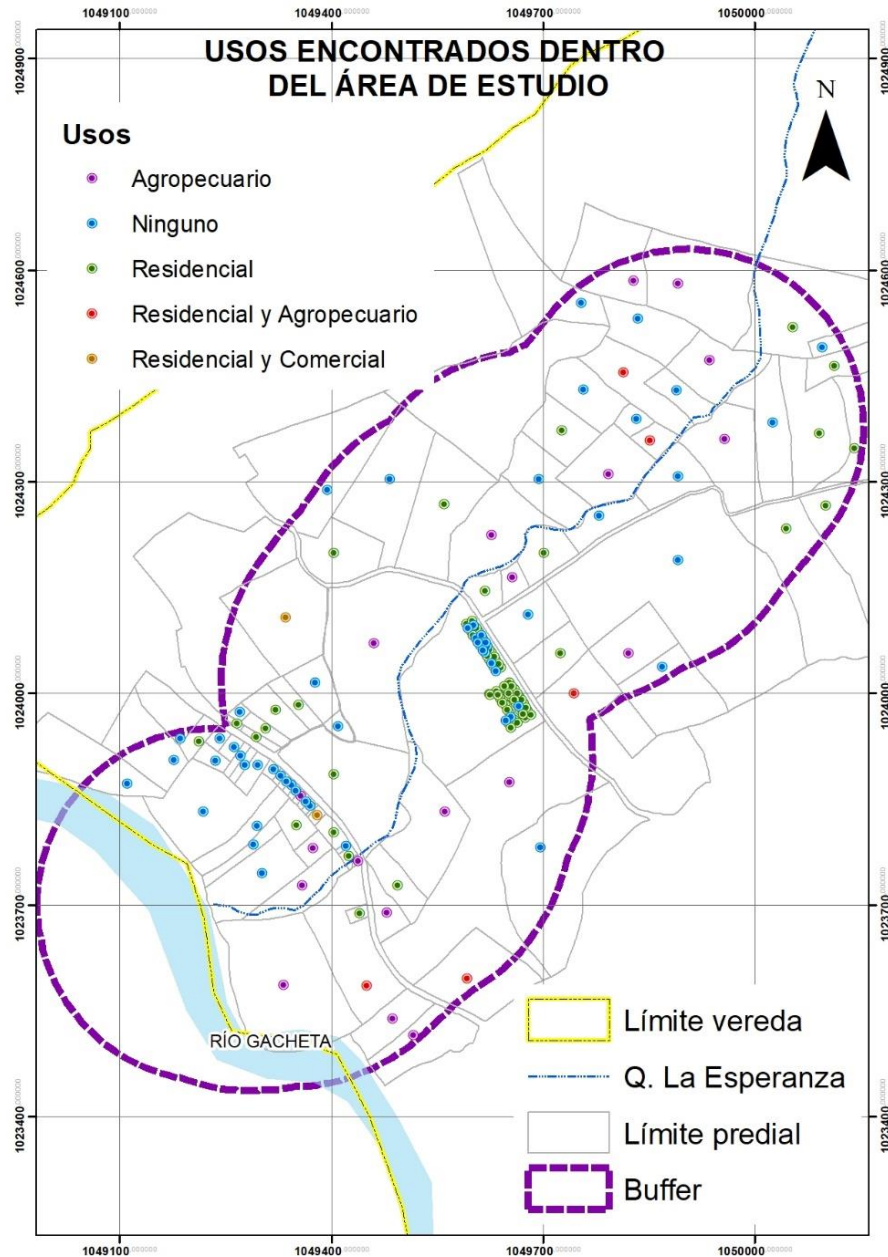
Continuando con en análisis, el 12,1% de los predios corresponde a usos agropecuarios, los cuales se llevan a cabo hacia las zonas periféricas de la urbanización mencionada. Seguido de este, se encuentra que los usos menos predominantes están conformados por usos mixtos como el residencial y agropecuario (3,2%) o residencial y comercial (1,3%). Dichos datos pueden apreciarse de forma clara en la **Tabla 3**.

**Tabla 3. Usos del suelo en los predios del área de estudio**

Usos del suelo	No. Predios
Agropecuario	19
Ninguno	57
Residencial	72
Residencial y Agropecuario	5
Residencial y Comercial	2
Usos especiales	2
<b>Total</b>	<b>157</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Entre los usos mixtos se reporta que 2 predios, equivalentes al 1,2% cuentan con algún tipo de actividad comercial, de los cuales uno corresponde a una tienda que vende productos básicos de la canasta familiar, y el otro corresponde a una carpintería. Cabe mencionar que 5 predios, equivalentes al 3,2% del total, cuentan con actividades agropecuarias adicionales a un uso residencial. Lo anteriormente mencionado se puede apreciar en la **Figura 6**.



**Figura 6. Usos reportados de los predios ubicados en el área de estudio**

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Adicionalmente, durante el levantamiento de información de campo se describieron diferentes infraestructuras clasificadas como de usos especiales, entre estas se encuentran tres (3) escenarios recreacionales (Ver Fotografía 1), una iglesia, un centro de acopio de basuras (Ver Fotografía 2), un salón comunal (Ver Fotografía 3), un colegio (Ver Fotografía 4), una bodega de almacenamiento (Ver Fotografía 5) y la planta de tratamiento de aguas residuales – PTAR (Ver Fotografía 6).



**Fotografía 1.** Escenarios recreacionales en el área de estudio

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Fotografía 2.** Centro de acopio de basuras

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Fotografía 3.** Salón comunal

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



E: 1049282 – N: 1024035

**Fotografía 4.** Colegio Monseñor Abdón López  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



E: 1049662 – N: 1023950

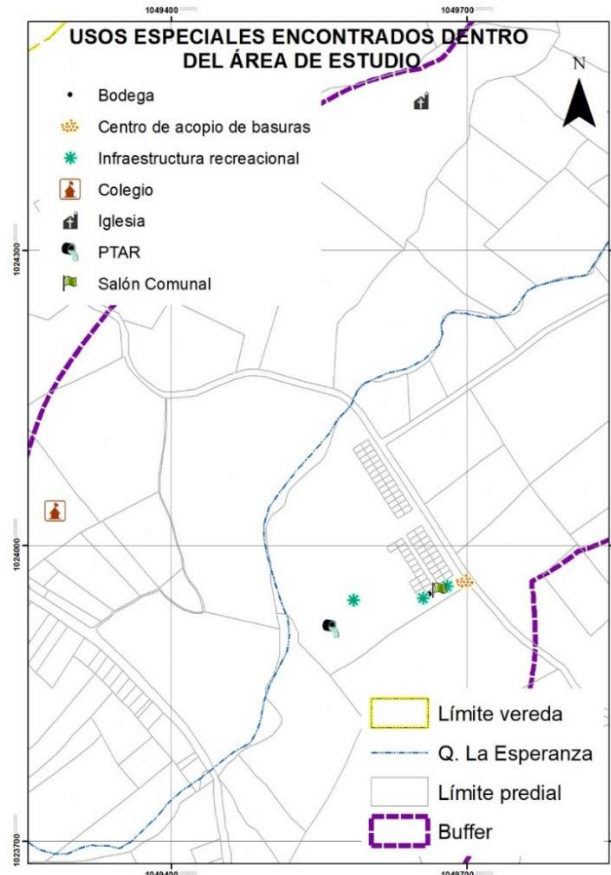
**Fotografía 5.** Bodega de almacenamiento  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



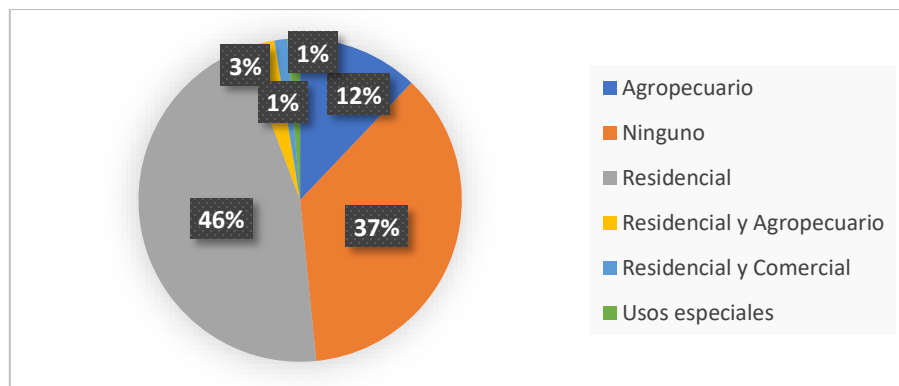
E: 1049561 - N: 1023916

**Fotografía 6.** Planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

A manera de complemento en la **Figura 7**, se muestran estos usos especiales descritos, y en la Figura 8 se muestra un gráfico donde se relacionan los porcentajes y la información anteriormente mencionada.



**Figura 7.** Usos especiales encontrados en el área de estudio  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 8.** Usos del suelo en los predios visitados  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Durante el levantamiento de información predial, se reportaron algunas captaciones, y fue informado por los encuestados que la quebrada La Esperanza es objeto de aprovechamiento para consumo, la información obtenida fue contrastada con la información de quienes tienen concesiones o algún permiso de vertimiento otorgado por la Corporación Autónoma Regional del Guavio, en donde no se encontraron dentro del buffer (Ver **Figura 9**).

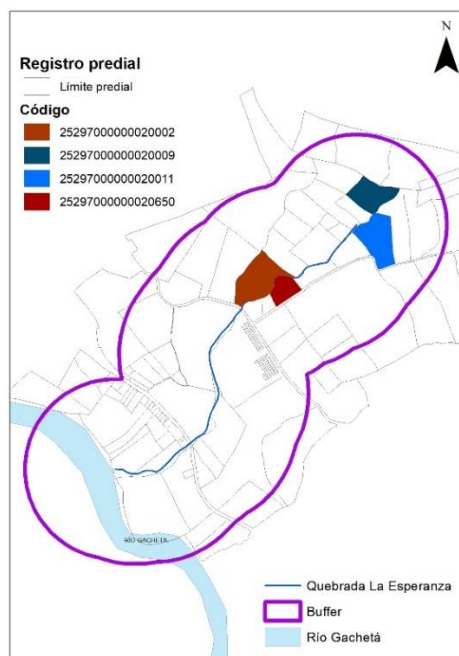
A continuación, en la

**Tabla 4**, se relacionan los predios que presentaron captaciones o vertimientos durante el momento de la visita. Cabe mencionar que, en los predios aledaños a la quebrada objeto de estudio, se desarrollan prácticas en su mayoría pecuarias, las cuales carecen de mecanismos de control de las heces, que por escorrentía llegan a alterar las propiedades del agua y desencadenar problemáticas como malos olores.

**Tabla 4.** Predios con captaciones o vertimientos identificados en el área de estudio

Captación / vertimiento	Este	Norte	Código predial
Captación	1049956	1024360	25297000000020011
	1049933	1024473	25297000000020009
Vertimiento	1049626	1024225	25297000000020002
	1049700	1024199	25297000000020650

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 9.** Predios donde se registran captaciones y vertimientos  
Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 1.3 Revisión sobre disposición o restricciones de uso y aptitud del suelo

De acuerdo con la ley orgánica de ordenamiento territorial, los planes de ordenamiento territorial se consideran como un instrumento de planificación y gestión de las entidades territoriales tendiente a lograr una adecuada organización político administrativa, para facilitar el desarrollo institucional, el fortalecimiento de la identidad cultural y el desarrollo territorial, fundamentado en el desarrollo económicamente competitivo, socialmente justo y físicamente sostenible, atendiendo la diversidad cultural y físico geográfica del territorio.

En el esquema de ordenamiento territorial "EOT" del municipio de Gachetá, se encuentra que más de la mitad de la jurisdicción municipal es apta para el desarrollo socioeconómico, con restricciones mayores, determinadas por relieves colindados estructurales, desde moderadamente empinadas, hasta muy inclinadas. Y por el otro lado zonas con restricciones menores, determinadas por vegas y terrazas aluviales del río Gachetá o río Guavio.

Adicionalmente, se menciona que, en los terrenos de menor pendiente, en las áreas más secas, se desarrolla ganadería intensiva, mientras que lo restante, se encuentra conformado por actividades agrícolas y ganadería extensiva, claramente con un notable grado de deforestación en la totalidad de veredas del municipio.

La zonificación propuesta por el EOT, muestra que las extensiones de terrazas planas se clasifican como zonas para la agricultura intensiva, además, los terrenos con pendientes moderadas y con suelos derivados de cenizas volcánicas, fueron definidos como zonas de uso agrosilvopastoril. Por otro lado, las zonas con pendientes ligeramente inclinadas se categorizaron como zona de aptitud forestal productora y protectora. Entrando en un conflicto con la realidad actual, ya que el uso de los territorios corresponde en su mayoría a sistemas agropecuarios minifundistas.

Continuando con lo dispuesto en el EOT, el casco urbano del municipio de Gachetá, se encuentra ubicado en una U, determinada por un sistema de fallas que lo clasifican como zona de amenaza por tectonismo. Estos rasgos estructurales de la geología regional determinan condiciones de inestabilidad por fracturamiento en los materiales terrestres a lo largo de la falla. En vista que la quebrada La Esperanza, se encuentra ubicada cerca al casco urbano del municipio de Gachetá, y a la urbanización La Esperanza, se encuentra en zona de influencia de la falla como se puede apreciar más adelante en la descripción del componente geomorfológico.

Por otro lado, en el instrumento se menciona que con fines de garantizar la protección al recurso hídrico, quebradas y ríos principales tendrán una zona de protección conformada por una franja de 30 metros a lado y lado; para lagunas, chucuas y nacederos, la zona de protección se encontrará en los primeros 100 metros a partir de la ribera; y en arroyuelos y caños menores, cuyo caudal sea limitado por aguaceros, la franja de ronda será de 3 a 5 metros a lado y lado. Estas son establecidas como zonas de manejo ambiental, que, en medidas de lo posible, deben ser reforestadas con

especies nativas, además, se reitera que el trazado de la franja es continuo desde el nacimiento de la corriente, hasta su desembocadura.

El sistema de producción pecuario, conformado principalmente por la ganadería, se encuentra en todas las veredas del municipio, por otro lado, la porcicultura, que se desarrolla en una menor intensidad, funciona como respaldo económico de las familias.

La información anteriormente descrita en el EOT, se contrasta con el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Guavio, recientemente adoptado mediante la resolución 1113 del 7 de octubre de 2019. En este se muestra que el 53% del área de estudio, correspondería a conservación, el 28% a cultivos transitorios semi intensivos y el 19% restante, corresponde a cultivos permanentes semi intensivos, sistema forestal productor y cuerpos de agua. Esta información se puede observar de manera detallada en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Uso del Suelo para el área de estudio según POMCA del río Guavio

USO PRINCIPAL	Área Ha	Porcentaje
Áreas para la conservación, recuperación, y/o recreación	39,0	53
Cuerpos de Agua Naturales	4,2	6
Cultivos permanentes semi intensivos	5,4	7
Cultivos transitorios semi intensivos	20,8	28
Sistema forestal productor	4,3	6
<b>Total</b>	<b>73,6</b>	<b>100</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Sin embargo, en la **Tabla 6** se muestran los conflictos de uso del suelo, entendidos como aquella discrepancia entre el uso que hace el ser humano del medio natural y el uso que debería tener, de acuerdo con sus potencialidades. Entre estas se encuentra que el 44% del área de estudio se encuentra categorizada como un uso adecuado, esto quiere decir que hay concordancia con la capacidad productiva del suelo, por otro lado, el 26% se encuentra severamente subutilizado, es decir, usos que se encuentran por debajo de la capacidad productiva. Además, el 21% presenta una sobreutilización moderada, significando que hay presencia de usos que sobrepasan la capacidad natural de los suelos.

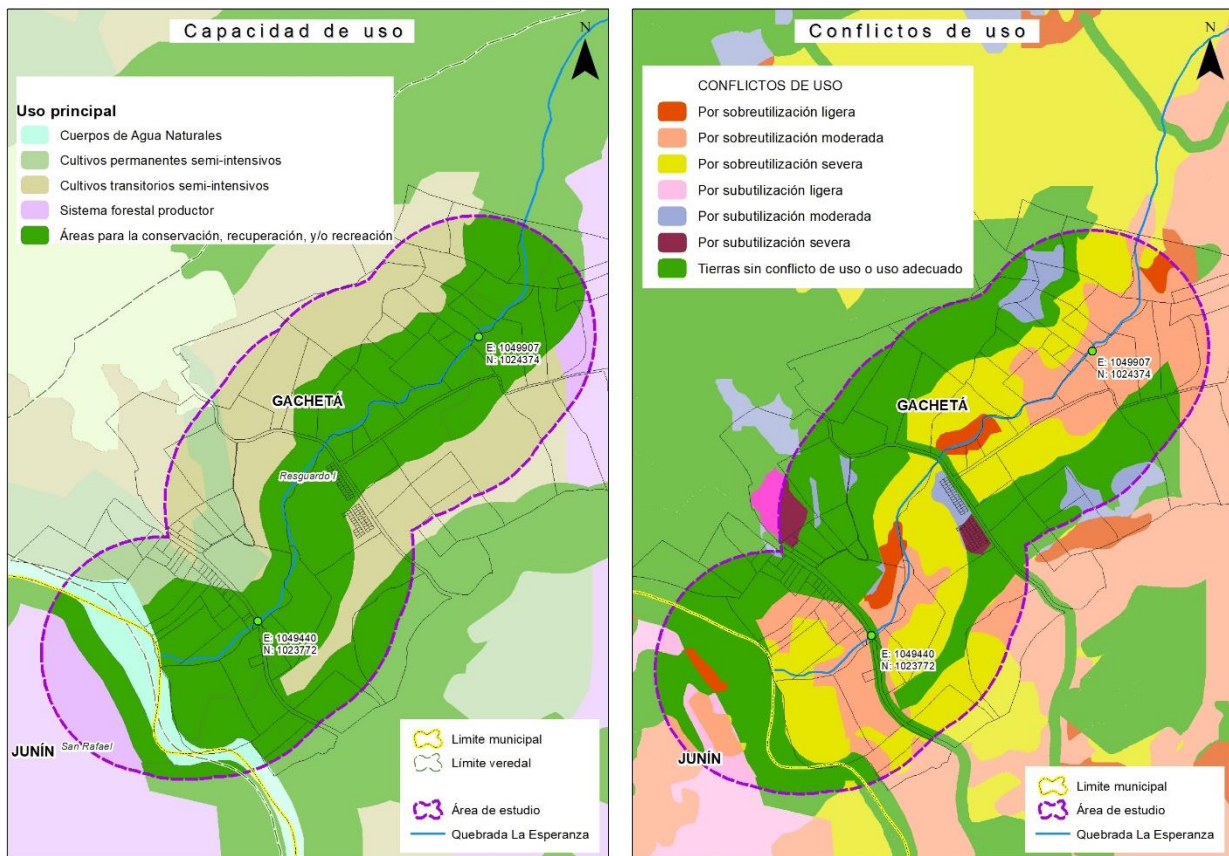
**Tabla 6.** Conflictos de uso del suelo para el área de estudio según el POMCA del río Guavio

CONFLICTOS DE USO	Área Ha	Porcentaje
Por sobreutilización ligera	1,9	3%
Por sobreutilización moderada	15,7	21%
Por sobreutilización severa	19,2	26%
Por subutilización ligera	1,1	1%
Por subutilización moderada	2,7	4%
Por subutilización severa	0,9	1%

Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	32,2	44%
<b>Total</b>	<b>73,6</b>	<b>100%</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Seguidamente, en la **Figura 10** se muestra una comparación entre la capacidad de uso y los conflictos de uso del suelo, de manera que se facilite observar que la zona de ronda destinada a conservación, se encuentra mayormente sobre utilizado. Cabe mencionar que el tipo de uso y cobertura actual se describe con detalle en la delimitación del componente ecosistémico, utilizando como insumo el levantamiento LIDAR.



**Figura 10.** Capacidad y conflictos de uso del suelo

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019 con información del POMCA del río Guavio

Para finalizar, es necesario mencionar que el ordenamiento territorial va de la mano con la gestión del riesgo, dado que proporciona la seguridad territorial y mejora la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades que se encuentran bajo condiciones de riesgo. La gestión del riesgo de desastres debe contener una visión preventiva respecto a las amenazas que afectan la integridad social y comprometan la sostenibilidad de la biodiversidad (Calderón, 2017).

Comprendiendo que la gestión del riesgo es un factor limitante en la ordenación del territorio, se reporta en el EOT que un evento de inundación: *...del pasado 2 de diciembre de 1998, en la quebrada La Esperanza, ha generado fenómenos de erosión severa hacia la parte baja de la quebrada ubicada cerca a la vía que comunica con el municipio de Ubalá...* En esta zona, la corriente ha afectado los gaviones construidos, y representa condiciones de amenaza a las infraestructuras residenciales cercanas.

El plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Guavio, en su componente de síntesis ambiental, permite identificar las limitantes y condicionamientos de orden biofísico y social que aplican a temáticas de ocupación del territorio, y uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Entre las limitantes y condicionamientos, se encuentran áreas con limitaciones en la capacidad productiva de los suelos, áreas con déficit y mala calidad del recurso hídrico, áreas expuestas a fenómenos peligrosos de origen natural o antrópico, con alta probabilidad de ocurrencia, y áreas afectadas por amenazas y riesgos que puedan condicionar, limitar o restringir el uso y aprovechamiento del territorio y sus recursos naturales (MinAmbiente, 2014).

De acuerdo a lo anterior, se hace el análisis de los criterios de la zonificación en cuanto a las limitantes y condicionamientos de usos, para el área de estudio de la quebrada La Esperanza. Entre estos se encuentra que el 40,7% pertenece a área de amenazas naturales, el 33,1% corresponde a áreas de recuperación para uso múltiple y el 22% se consideran áreas de importancia ambiental. Esta información se detalla claramente en la **Tabla 7**.

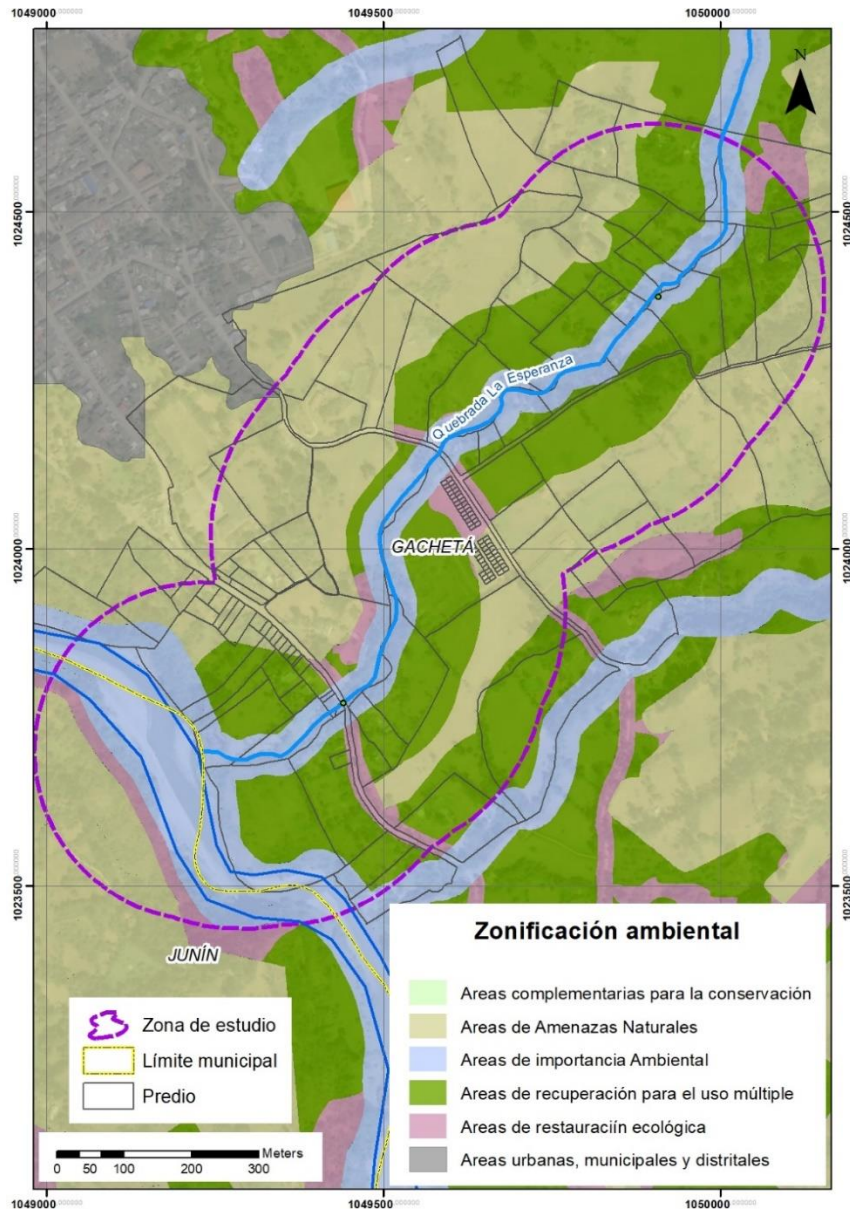
**Tabla 7.** Zonificación ambiental para el área de estudio

Criterios de zonificación	Área (Has)	Porcentaje (%)
Áreas de amenazas naturales	29,94	40,7
Áreas de importancia ambiental	16,23	22,0
Áreas de recuperación para uso múltiple	24,38	33,1
Áreas de restauración ecológica	3,07	4,2
Áreas urbanas, municipales y distritales	0,02	0,0
<b>Total</b>	<b>73,65</b>	<b>100,0</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019 con información del POMCA del río Guavio

Cabe mencionar que las áreas de amenazas naturales, las áreas de importancia ambiental y las áreas de restauración ecológica, se encuentran catalogadas en el Esquema de Ordenamiento Territorial como de conservación y protección ambiental, así mismo, áreas urbanas, municipales y distritales, y áreas de recuperación para uso múltiple, son comprendidas por una categoría de uso múltiple.

A continuación, en la **Figura 11**, se puede observar la distribución de las áreas anteriormente mencionadas dentro del área de estudio.



**Figura 11.** Zonificación Ambiental

Fuente: Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Rio Guavio, 2019

En síntesis, en el ordenamiento territorial del municipio, no se dan medidas puntuales para el manejo de la ronda hídrica de la quebrada La Esperanza, aun cuando se tiene conocimiento integral con la gestión del riesgo y antecedentes registrados. Por otro lado, en el POMCA, específicamente, en el componente de zonificación ambiental, hay unas limitantes claras en cuanto al uso del suelo. La de mayor importancia para el presente estudio, es aquella tomada del literal d, artículo 83, del decreto 2811 de 1974, de la faja paralela de hasta 30 metros, la cual es inalienable e imprescriptible, y se ve reflejada en la **Figura 11**, como áreas de importancia ambiental.

## 1.4 Recopilación y análisis de instrumentos de gestión ambiental

Para el análisis de los instrumentos de gestión ambiental, se realizó la búsqueda de estudios como documentos, trabajos, investigaciones y/o publicaciones realizadas por entidades municipales, regionales y departamentales. Así mismo, se realizó la revisión cartográfica tanto básica como temática pertinente para el área de estudio correspondiente al municipio de Gachetá, en la vereda Resguardo I.

De acuerdo a lo anterior, en la **Tabla 8** se muestra el análisis de la información documental recopilada y calificada de acuerdo a los fines pertinentes de la delimitación de la ronda hídrica de la Quebrada La Esperanza.

**Tabla 8.** Análisis de información documental secundaria

Título del archivo	Año	Autor	Características de la información				Acto admin.	Resumen
			P	F	A	C		
Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Guavio	2019	Corporación Autónoma Regional del Guavio "CORPOGUA VIO"	A	A	A	A	Vigente / Resolución 1113 del 7 de octubre de 2019	En este documento se encuentra lo definido por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible que consiste en un documento donde se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca del río Guavio, en el que además se evidencia la participación de la población que habita en el territorio de la cuenca, conducente al buen uso y

Título del archivo	Año	Autor	Características de la información				Acto admin.	Resumen
			P	F	A	C		
								manejo de tales recursos. Así mismo, funciona como guía para el ordenamiento territorial, considerando ecosistemas de importancia estratégica y condicionantes relacionados con la gestión del riesgo para la cuenca del río Guavio
Esquema de ordenamiento territorial de Gachetá	2004	Alcaldía de Gachetá	A	A	B	B	Vigente / Acuerdo 015 del 06 de diciembre de 2001	En el EOT de Gachetá, se encuentra información relacionada con el uso del suelo tanto urbano como rural.
Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación Cuenca Hidrográfica del Río Gachetá.	2007	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR-, Andean Geological Services - AGS-	A	B	B	A	Contrato de consultoría No. 403 del 2006.	En el documento se encuentra información acerca del diagnóstico físico, biótico y socio económico de la cuenca.
Memorias Geología de la plancha 228 Bogotá Noreste.	2015	Corredor Victoria E., Terraza M. Roberto. Servicio Geológico Colombiano - SGC-	A	A	A	A	No aplica	Memoria técnica de la geología de la plancha 228

Título del archivo	Año	Autor	Características de la información				Acto admin.	Resumen
			P	F	A	C		
Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia.	2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MMA-	A	A	A	A	Decreto 2245 de 2017	Procedimiento para llevar a cabo el acotamiento de la ronda hídrica, teniendo en cuenta los componentes hidrológicos, geomorfológicos y ecosistémicos.
Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa esc. 1:100.000 plancha 228 – Santafé de Bogotá Noreste.	2018	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC-, Servicio Geológico Colombiano - SGC-.	A	A	A	A	Convenio especial de cooperación No. 15 de 2017 SGC - UPTC. Bogotá D. C.	Memoria técnica de la geomorfología de la plancha 228
Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000	2010	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	A	A	A	A	Convenio Especial de Cooperación No. 018 de 2008, IDEAM, IAvH, SINCHI, UAESPNN, IGAC.	Se encuentra la metodología para caracterizar las coberturas y usos del suelo

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Adicionalmente, en la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**, se encuentra la información cartográfica utilizada para el desarrollo del presente estudio, en esta se muestra la escala a la que se encuentra y el año en el que fue elaborada.

## 1.5 Socialización a la comunidad

Esta actividad consiste en la identificación de los principales actores que tienen relación con la ronda hídrica. La participación de los actores en el conocimiento de los resultados del estudio de

acotamiento de la ronda hídrica, así como en el aporte de información para la identificación de servicios ecosistémicos que ellos perciben, contribuirá a que la Autoridad Ambiental defina las estrategias para el manejo ambiental de la ronda hídrica con base en un análisis integral de las dimensiones físico-biótica y socioeconómica.

Igualmente, el proceso servirá para promover la responsabilidad colectiva y la concientización relacionada con la importancia de estas áreas del territorio dentro de las dinámicas del sistema fluvial. Adicionalmente, considerando que el acotamiento de rondas hídricas es un proceso que permite garantizar las condiciones adecuadas para mantener la funcionalidad del cuerpo de agua, puede mitigar condiciones de riesgo asociadas. En particular la regulación natural de fenómenos de inundaciones o avenidas torrenciales, evitando con ello la generación de condiciones de riesgo, así como la efectividad en la implementación de las estrategias para el manejo ambiental.

### 1.5.1 Actores Clave

Producto del buffer de 250 metros a lado y lado de la quebrada La Esperanza, se realiza la identificación de actores pertinentes para el área de estudio, durante esta actividad se utilizó como principal insumo el directorio de actores suministrado por la Corporación, no obstante, durante el levantamiento de información de campo se identificaron personas de la comunidad que representaban un interés respecto a los objetivos del proyecto por lo cual se definieron cuáles de ellos se consideraban claves para el mismo.

A continuación, en la Tabla 9 se muestran los actores clave identificados en el área de estudio, entre estos, se encuentran dos representantes líderes de la urbanización la esperanza y dos representantes de la junta de acción comunal de la vereda. Cabe mencionar que a la socialización se citó al alcalde del municipio y al secretario de planeación municipal, quienes no realizaron presencia en el espacio, pero que al ser la máxima autoridad en el municipio y tener funciones públicas respectivamente, son considerados actores claves.

**Tabla 9.** Actores clave identificados en el área de estudio

Representante	Nombre
JAC Urbanización La Esperanza	Janeth Chala
JAC Resguardo I	Oliverio Cárdenas
JAC Resguardo I	Sandra Beltrán
Urbanización La Esperanza	Gina Paola Guzmán
Alcalde municipal	Julio Enrique Aguilera
Secretario de planeación	Jhon Alexander Gómez

Fuente: PI Planificación Integral Consultores SAS, 2019.

### 1.5.2 Convocatoria

Una vez identificados los actores clave, se realiza la convocatoria a los mismos de la siguiente manera (Anexo 2):

- **Gestión telefónica:** Se realizó el primer acercamiento por vía telefónica, para poder concertar el día y el lugar de la reunión con el fin de que asistieran.
- **Oficios:** Se realizaron los oficios de convocatoria, los cuales fueron remitidos a los actores (Anexo).
- **WhatsApp:** Se enviaron las convocatorias a través de esta red social, ya que los actores decidieron que por este medio se obtiene la información de forma rápida y efectiva y atribuyen al medio ambiente.

Días previos a la reunión se realizó acercamiento vía telefónica a los actores identificados recordándoles la importancia de su asistencia a la actividad y con el fin de que divulgaran la información en sus respectivas comunidades.

### 1.5.3 Agenda

#### 11:00 am Bienvenida:

- Registro de asistencia
- Presentación de los actores y el personal técnico del proyecto
- Presentación del contrato y objetivo del encuentro

#### 11:15 am – 11:30 am

- ¿Qué es la delimitación de rondas hídricas?
- ¿Cómo se va a realizar la delimitación de ronda de la Quebrada La Esperanza?
- Respuesta a inquietudes de la comunidad por parte del equipo técnico

#### 11:30 am – 11:45 am

- Taller de cartografía social

#### 11:45 m – 12:00 m

- Cierre y conclusiones

**Tabla 10.** Reunión socialización inicial

FECHA	LUGAR
10 octubre de 2019 11:00 am	Salón comunal Urbanización La Esperanza

Fuente: PI Planificación Integral Consultores SAS, 2019.

#### **1.5.4 Cartografía Social y SIG Participativo**

El objetivo de la cartografía social es representar en un mapa la percepción de las comunidades sobre el territorio que habitan. La comunidad debe ser convocada para que en grupos de trabajo discutan, dibujen y pinten el mapa del territorio con objeto de identificar áreas inundadas por eventos históricos.

Desde la cartografía social de riesgos se busca representar los sitios con mayor posibilidad de pérdida de vidas humanas y afectaciones negativas sobre los elementos expuestos (personas, medios de subsistencia, servicios ambientales, recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura) a fenómenos como las inundaciones fluviales lentas.

Con el fin de llevar a cabo lo anterior, se realizaron grupos de trabajo liderado cada uno, por un adulto mayor quién diera línea del comportamiento de la Quebrada La Esperanza acerca de los siguientes sucesos:

1. Inundaciones fluviales lentas
2. Avenidas torrenciales
3. Línea de tiempo eventos históricos puntuales
4. Posibles soluciones

#### **1.5.5 Resultados**

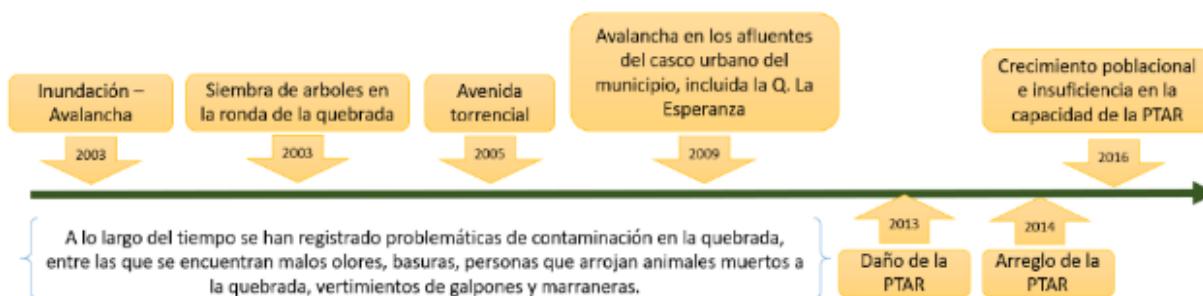
Durante la ejecución de la presentación, las 19 personas de la comunidad asistentes a la reunión mostraron una participación constante y activa (ver Figura 12). De manera que definieron la Quebrada La Esperanza como un cuerpo de agua torrencial, que en temporadas de lluvias genera arrastre de sedimentos, y adicionalmente el relieve se encuentra de tal forma que durante fuertes lluvias el agua no se encausa en la quebrada, sino que genera inundaciones ocasionales en la urbanización.



**Figura 12. Registro fotográfico de la actividad de socialización**

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

De acuerdo a los comentarios de la comunidad asistente a la socialización, a continuación, en la Figura 13, se muestra la línea de tiempo que se construyó con los eventos relacionados de importancia en la quebrada objeto de delimitación. Entre los datos suministrados, se encuentra que se han registrado 3 eventos relacionados con la quebrada, una inundación registrada en el año 2003, y dos fenómenos de avenida torrencial 2005 y 2009.



**Figura 13. Línea de tiempo construida con los miembros de la comunidad**

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Cabe mencionar que los asistentes de la comunidad recordaron el año de los sucesos, pero no la fecha exacta, no obstante, en el desarrollo del componente hidrológico se hace la consulta de las bases de datos relacionadas con el tema de riesgos, para precisar los acontecimientos.

Una vez realizada la línea de tiempo, se procedió a realizar un ejercicio de cartografía social, con la finalidad de que se ubicaran en un mapa impreso los sitios donde se presentan desbordamientos, inundaciones, o arrastres de sedimentos con frecuencia, lo anterior, con el objetivo que los profesionales técnicos se desplazaran a esos sitios e identificaran rastros de los sucesos. Adicionalmente, esta información se tendrá en cuenta al momento de establecer medidas de manejo en la ronda hídrica.

A continuación, en la **Figura 14**, se muestra el mapa resultante dentro del ejercicio de la cartografía social. En este se encuentra referenciado el buffer de 250 metros, la quebrada La Esperanza, la Urbanización, y el río Guavio. Las indicaciones a los asistentes fueron:

- Referenciar en color azul, las zonas donde se presentan eventos de inundación
- Referenciar en color negro, las obras e infraestructura que se encuentra a lo largo del cuerpo de agua objeto de delimitación.
- Referenciar en color verde, las zonas de coberturas vegetales que han sido degradadas con el paso del tiempo.
- Referenciar en color rojo las problemáticas asociadas a la Quebrada La Esperanza



**Figura 14.** Mapa resultante del proceso participativo de la cartografía social  
Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 1.5.6 Conclusiones

La comunidad asistente al taller reporta 3 eventos relacionados con crecientes en la quebrada objeto de estudio, entre estos, se menciona como primer evento de inundación el registrado en el año 2003, en el cual la comunidad realizó siembra de plantas para minimizar posibles afectaciones relacionadas a estos eventos. Respecto a los otros dos eventos ocurridos en 2005 y 2009, no se tomaron acciones preventivas por parte de la comunidad.

Así mismo, los habitantes de La urbanización La Esperanza se han visto afectados por diferentes problemáticas relacionadas con la Quebrada La Esperanza, por ende, ven la necesidad de que se desarrollen proyectos que puedan darle una solución a estos inconvenientes que se han presentado a lo largo de del tiempo.

Dado que se relaciona la importancia de mantener la ronda hídrica en adecuada funcionalidad, la comunidad de la urbanización La Esperanza solicita ser parte del proceso de formulación de medidas de manejo que permitan tomar acciones respecto a la delimitación del cuerpo de agua, resultante de la sobreposición de los componentes hidrológico, ecosistémico y geomorfológico derivados del desarrollo del proyecto.

Pese a que el bosque ripario se ha deteriorado con el paso de los años, véase la **Figura 14**, la comunidad demuestra interés en que se articule el gobierno local como la autoridad ambiental, para establecer programas de recuperación de la vegetación a lo largo de la quebrada La Esperanza.

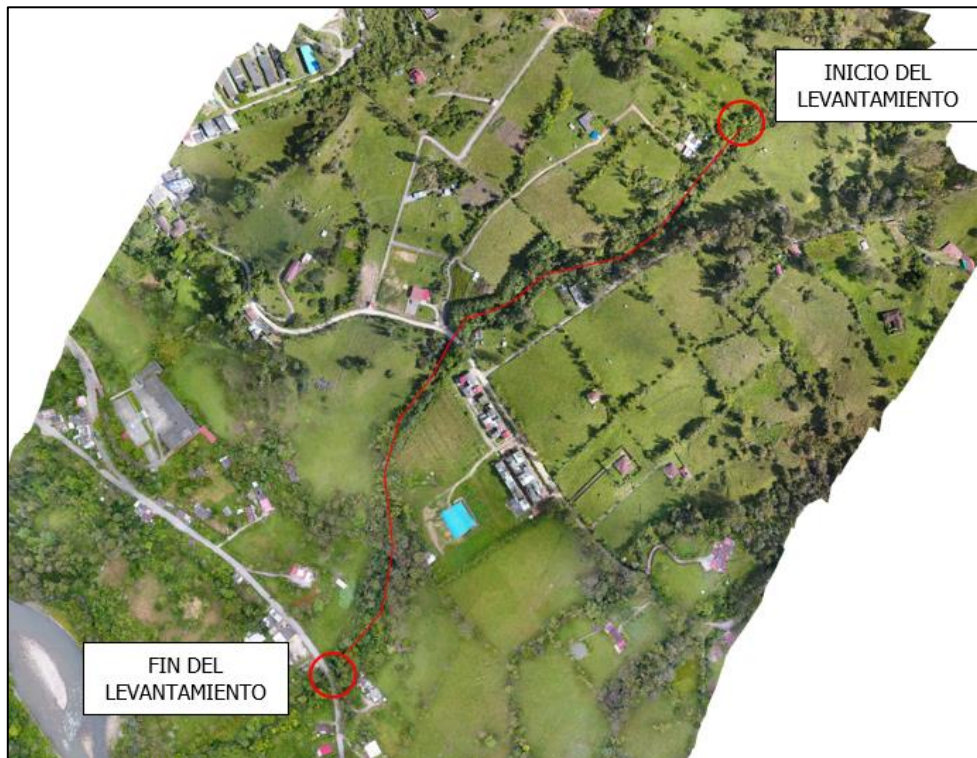
## FASE 2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO



Se realizó el levantamiento topográfico y batimétrico del cauce permanente y área aferente de la quebrada La Esperanza en una longitud de 250 m a cada margen del cauce en el área de estudio, con secciones hidro topográficas cada 40 metros y nivel de precisión superior a 20 cm. Cabe aclarar que las secciones Transversales presentadas en los planos no corresponden a exactitud con las secciones hidro topográficas, pues éstas últimas son las que definen el modelo digital de terreno, y a partir de él, en el software se definió generar secciones en abscisas cerradas cada 20 metros.

Con equipo convencional se levantaron las secciones transversales a detalle e información en la zona del cuerpo de agua donde existe vegetación abundante, se implementó el equipo GNSS para levantar puntos y determinar sus respectivas coordenadas reales tanto para puntos de referencia como detalles, finalmente se realizó un vuelo no tripulado para obtener la demás información referente al área de interés y complementar los levantamientos anteriormente mencionados.

La quebrada La Esperanza se extiende por 1.63 Km, el levantamiento se inició aguas arriba en la coordenada E: 1049907 m N: 1024374 m, hasta la coordenada E: 1049440 m N: 1023772 m en la intersección con la vía Gachetá-Ubalá (Ver **Figura 15**), cabe resaltar que hasta 40 metros después de esta última coordenada se hizo el levantamiento de las secciones hidro topográficas, con el fin contar con información que contribuya a la elaboración de la superficie.



**Figura 15.** Localización del eje de levantamiento de la quebrada La Esperanza.  
Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

## 2.1 Equipos y elementos

Los equipos utilizados en campo fueron los siguientes y se encuentran debidamente calibrados y cuentan con certificado vigente, el cual se anexa.

- Estación Total marca TOPCON GTS 233W. Medición de distancia con precisión de 2 mm + 2 ppm m.s.e. y precisión de 3" para ángulo horizontal.



**Figura 16.** Estación total TOPCON GTS233W.

**Fuente:** INSTOP, 2019.

- Equipo LEICA GPS 1200+, receptor GNSS de doble frecuencia precisión geodésica, con precisión en método estático mínimo de 3mm + 0.5 ppm horizontal y 6mm + 0.5 ppm vertical y cuenta con 120 canales.



**Figura 17.** Receptor GNSS LEICA GPS 1200+.

**Fuente:** INSTOP, 2019.

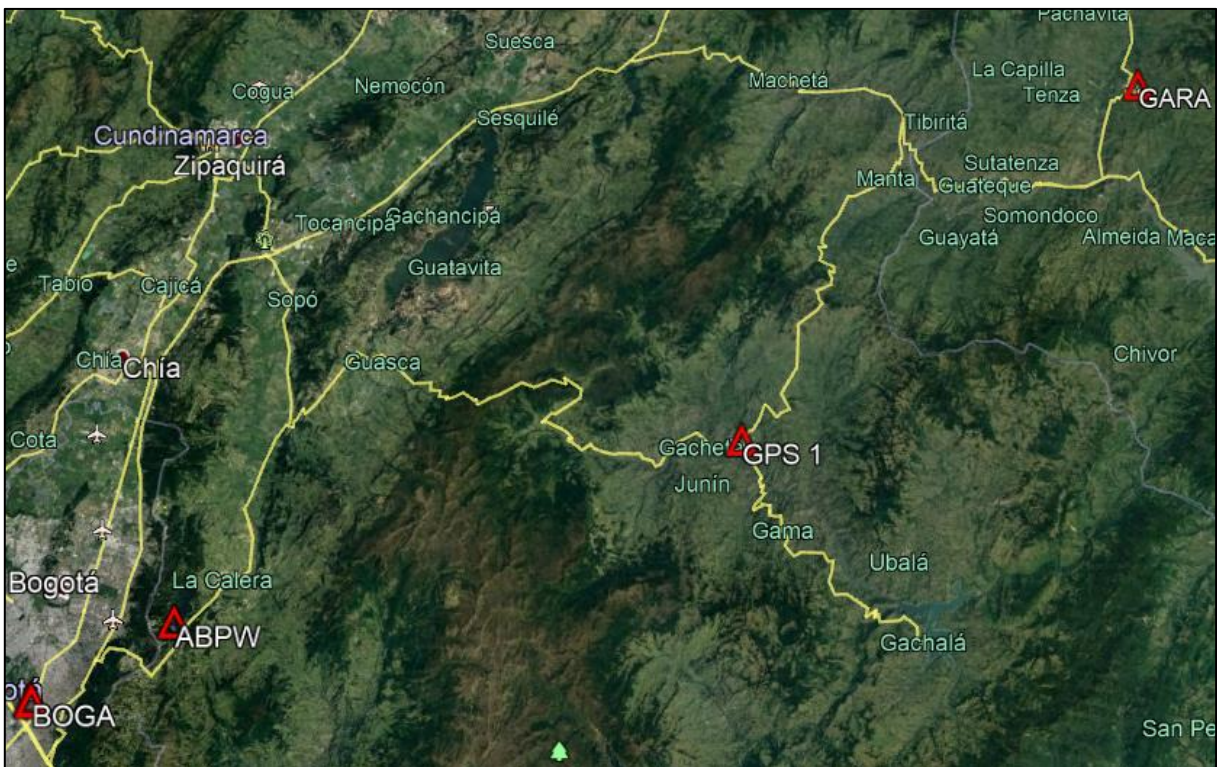
- Accesorios y elementos complementarios.

Equipo de oficina:

- Computador portátil.
- Software Leica Geo Office, AutoCAD Civil3D, Topcon Link y Magna Pro 4.0.

## 2.2 Planeación del posicionamiento GNSS

El proceso llevado a cabo fue la verificación del funcionamiento de los vértices IGAC de la red Magna ECO cercanos al área de estudio, se concluyó que la estaciones BOGA y GARA serían las óptimas para el posicionamiento. De manera adicional se realizó el montaje de la estación permanente bajo el nombre de GPS1, como punto de referencia para la georreferenciación. La ubicación de las estaciones se muestra en la **Figura 18**.



**Figura 18.** Localización GARA, BOGA y GPS 1.  
Fuente: Google Earth, 2019.

Conjuntamente se realizó la verificación de las líneas de nivelación de precisión (NP's) localizadas en el área de estudio y su área de influencia, concluyendo que el punto de nivelación más cercano se encuentra en el municipio de Guasca a 28.8 kilómetros aproximadamente en línea recta, lo que

indica que no es preciso realizar una nivelación geométrica puesto que dado el tipo de terreno y los quiebres que serían necesarios para realizar la nivelación, la distancia se duplicaría y el error permitido por kilómetro de nivelación quintuplica el error promedio de la cota Ortométrica. Según lo indicado en la resolución 1562 del 2018 los puntos de control vertical ortométricos obtenidos a partir de GNSS son la mejor opción para obtener una elevación en estos casos, teniendo finalmente una presión de 10 centímetros.

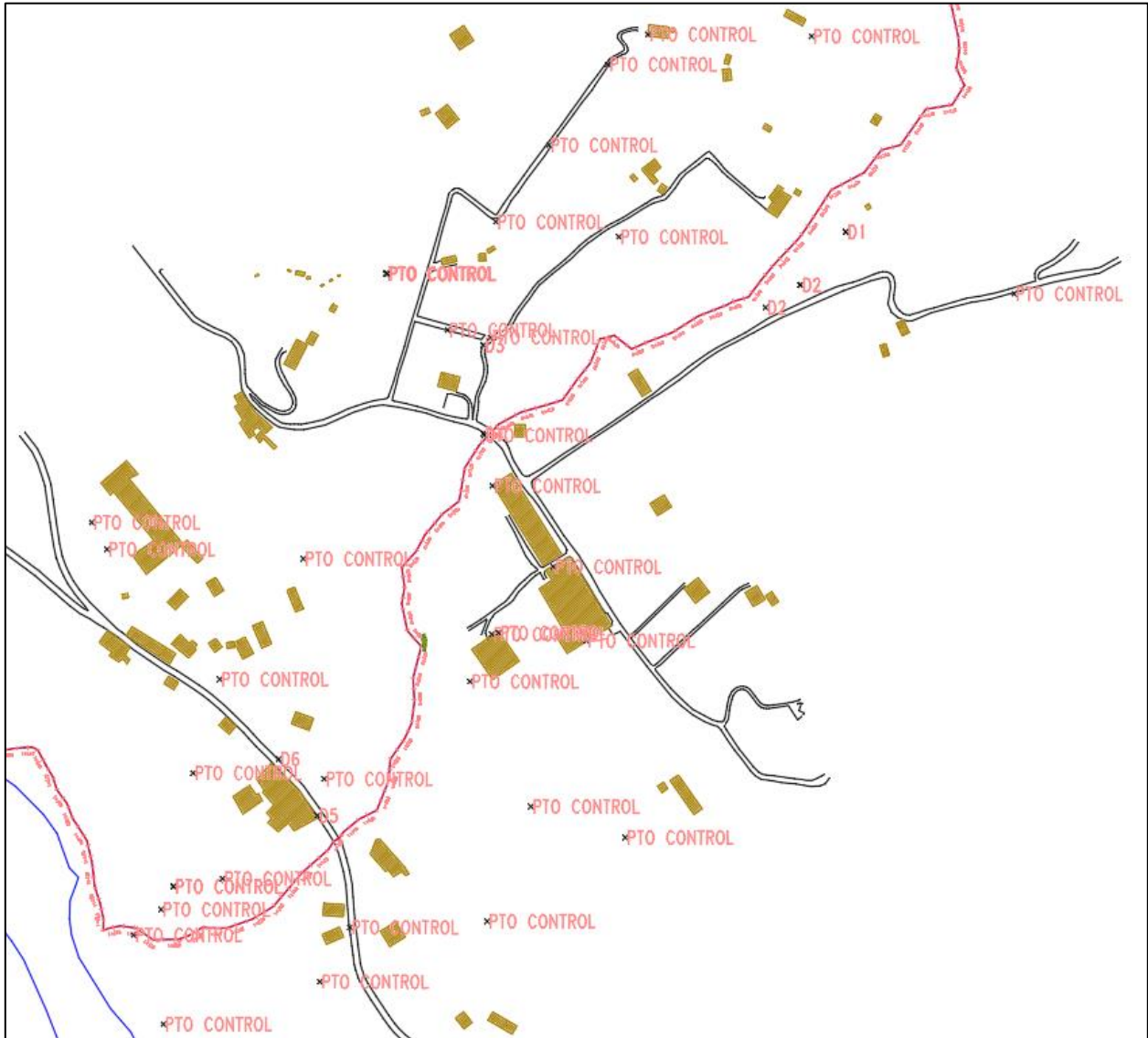
### 2.2.1 Localización y materialización de vértices de apoyo

Según las necesidades del proyecto se localizó el equipo base para el posicionamiento GNSS denominado GPS 1 que fue ubicado en el techo de una vivienda del municipio de Gachetá, (ver Figura 19), materializado con puntilla y pintura. Se distribuyeron a lo largo del área de estudio 6 vértices GPS, que conforman la red de apoyo que se denominaron (deltas), y posteriormente se materializaron 30 vértices GNSS para el control terrestre del levantamiento fotogramétrico (ver Figura 20), dichos puntos fueron materializados con aerosol, con la finalidad de que fueran visibles en las fotografías capturadas por el aeronave no tripulada.



**Figura 19.** Punto base GPS 1.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.



**Figura 20. Puntos de referencia y de control.**  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019.

## 2.2.2 Posicionamiento GNSS

Para el proceso de georreferenciación se utilizó un receptor GNSS Leica 1200 GPS de doble frecuencia, con antenas AX1202 Y AX1203+GNSS, esta actividad se realizó los días 16, 17, 18 y 19 de la semana GPS 2075 y los días 20, 21, 22 y 23 de la semana GPS 2076. El punto base, denominado GPS 1 cumple con el tiempo de rastreo de las especificaciones descritas en la resolución 643 del 2018 (ver Tabla 11).

Utilizando una antena móvil mediante la metodología de Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real (RTK) se levantaron los vértices de referencia y de fotocontrol los cuales cuentan con precisiones al centímetro (dicha información se puede observar más detalladamente en el anexo de topografía carpeta 8. *Procesamiento GNSS > 8.5 Detalles RTK*), así mismo se tomó cada punto donde se consideró información relevante para el levantamiento, es el caso de: puntos de nivel, puntos de amarre, paramentos, delimitación de la quebrada, vías, etc.

**Tabla 11.** Tiempo de rastreo

Point Id	Point Class	Start	End	Duration
GPS1	Adjusted	10/16/2019 14:50:03	10/16/2019 18:16:37	3h 26' 34"
GPS1	Adjusted	10/17/2019 07:36:12	10/17/2019 17:52:31	10h 16' 19"
GPS1	Adjusted	10/18/2019 07:25:34	10/18/2019 12:04:22	4h 38' 48"
GPS1	Adjusted	10/18/2019 14:46:26	10/18/2019 18:03:04	3h 16' 38"
GPS1	Adjusted	10/19/2019 07:37:03	10/19/2019 17:49:48	10h 12' 45"
GPS1	Adjusted	10/20/2019 08:08:08	10/20/2019 14:36:56	6h 28' 48"
GPS1	Adjusted	10/20/2019 15:07:50	10/20/2019 17:27:21	2h 19' 31"
GPS1	Adjusted	10/21/2019 07:54:31	10/21/2019 17:04:00	9h 09' 29"
GPS1	Adjusted	10/22/2019 07:17:53	10/22/2019 13:50:42	6h 32' 49"
GPS1	Adjusted	10/22/2019 14:17:24	10/22/2019 17:12:42	2h 55' 18"
GPS1	Adjusted	10/23/2019 07:36:52	10/23/2019 16:59:27	9h 22' 35"

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

### 2.2.3 Procesamiento de información GNSS

El primer paso para el inicio del postproceso es la descarga de los archivos:

- Crudos GPS 1.
  - Rinex BOGA – GARA (Ver Tabla 12).
  - Efemérides precisas.
- Coordenadas de estaciones permanentes red SIRGAS semana 2018.

**Tabla 12.** Coordenadas geocéntricas SIRGAS semana 2073

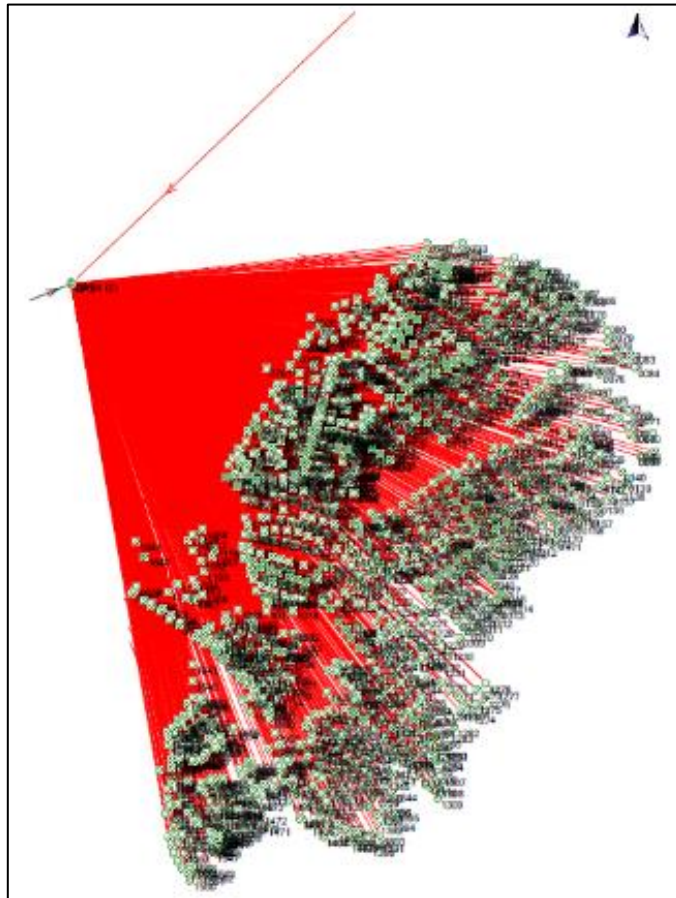
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)	FLAG
97	BOGA 41901M002	1744517.15528	-6116051.01308	512581.12858	A
239	GARA 41945M001	1819791.59920	-6088854.56876	561298.43899	A

**Fuente:** SIRGAS

Una vez en el software Leica Geo Office se crea el proyecto, se completa toda la información

general, el sistema de coordenadas donde se elige WGS84 como elipsoide, pues toda la información GPS (Rinex, estaciones permanentes y crudos) almacenan la información regida por este elipsoide, también en la práctica el elipsoide WGS84 es igual al GRS80 (Geodetic Reference System 1980). De igual forma se configura la proyección de coordenadas planas cartesianas origen Bogotá y el modelo geoidal correspondiente para Colombia Geocol2004, el cual se encuentra en vigencia actualmente. El software realiza las transformaciones de coordenadas y cálculo de alturas elipsoides y elevaciones de terreno según el modelo geoidal, por lo que se configura la precisión y las opciones y/o preferencias para el procesamiento de los datos GNSS.

Seguido a ello se importan los archivos Rinex, crudos y efemérides precisas, se seleccionan los puntos de control y se cambian las coordenadas a las presentadas en el archivo provisto por SIRGAS correspondiente a la semana 2073. Teniendo la información se realiza el procesamiento de las líneas base, si es el caso y se presentan errores de ajuste, se debe revisar el informe de cálculo para encontrar los segundos o intervalos en los cuales el receptor GPS grabó información inválida, eliminar estos intervalos y volver a procesar las líneas base (ver Figura 21).



**Figura 21.** Esquema de puntos GNSS levantados.  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

## 2.2.4 Resultado del procesamiento GNSS

**Tabla 13.** Coordenadas de los deltas, auxiliares y puntos de control tomados por RTK.

ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1049909.96	1024336.11	1836.13091	D1
1049835.99	1024266.52	1821.38984	D2
1049868.12	1024287.29	1826.80325	D2
1049576.18	1024231.73	1790.07047	D3
1049576.25	1024231.78	1790.06003	D3
1049576.28	1024150.44	1780.87025	D4
1049423.35	1023798.69	1730.99405	D5
1049387.79	1023850.64	1734.1737	D6
1050064.92	1024279.11	1879.09174	PTO CONTROL
1049584.45	1024102.36	1778.35934	PTO CONTROL
1049640.63	1024027.86	1776.2847	PTO CONTROL
1049670.92	1023959.62	1776.86103	PTO CONTROL
1049878.43	1024516.3	1857.02213	PTO CONTROL
1049690.9	1024490.4	1836.81469	PTO CONTROL
1049636.57	1024416.09	1824.04427	PTO CONTROL
1049701	1024331.6	1815.22332	PTO CONTROL
1049582.71	1024239.06	1791.26195	PTO CONTROL
1049587.68	1024345.43	1811.4063	PTO CONTROL
1049727.74	1024517.98	1849.84976	PTO CONTROL
1049486.37	1024297.94	1803.93788	PTO CONTROL
1049486.88	1024297.12	1803.75766	PTO CONTROL
1049487.85	1024297.78	1803.67161	PTO CONTROL
1049543.16	1024245.82	1794.39802	PTO CONTROL
1049410.4	1024035.15	1780.28722	PTO CONTROL
1049429.63	1023832.37	1738.28797	PTO CONTROL
1049333.41	1023924.16	1739.97499	PTO CONTROL
1049577.03	1024148.88	1780.90623	PTO CONTROL
1049563.84	1023922.09	1757.84352	PTO CONTROL
1049583.92	1023965.65	1761.45549	PTO CONTROL
1049590.28	1023966.87	1759.7944	PTO CONTROL
1049619.99	1023806.97	1761.19911	PTO CONTROL
1049706.84	1023778.44	1764.50615	PTO CONTROL
1049579.71	1023701.3	1747.9404	PTO CONTROL
1049526.34	1023576.22	1721.46628	PTO CONTROL
1049453.26	1023695.67	1727.26505	PTO CONTROL

ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1049425.59	1023645.61	1717.02535	PTO CONTROL
1049305.08	1023527.48	1682.68667	PTO CONTROL
1049281.51	1023606.54	1691.61122	PTO CONTROL
1049279.49	1023712.15	1697.3766	PTO CONTROL
1049290.92	1023733.35	1702.57746	PTO CONTROL
1049290.86	1023733.34	1702.57173	PTO CONTROL
1049253.98	1023688.72	1685.12428	PTO CONTROL
1049335.99	1023740.58	1713.17124	PTO CONTROL
1049308.87	1023837.76	1719.96146	PTO CONTROL
1049229.62	1024043.83	1752.99707	PTO CONTROL
1049215.44	1024068.56	1752.78725	PTO CONTROL
1049423.35	1023798.69	1730.994	AUX50
1049576.25	1024231.78	1790.06	GPS1

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019.

Una vez obtenida la nube de puntos del procesamiento se procedió a definir la época ITRF según la resolución 715 de 2018, expedida por el IGAC, "por medio de la cual se actualiza el marco geocéntrico nacional de referencia, del ITRF94 época 1995.4, al ITRF2014 época 2018.0", por consiguiente, la información GNSS se presenta en el ITRF2014; Así mismo en la página oficial del IGAC, en la sección de datos geodésicos se encuentra el modelo de velocidades VEMOS2009 generado por la organización SIRGAS, que actualmente se encuentra vigente y que el cual se usó para trasladar o corregir las coordenadas de un vértice a la época de referencia dada por el ITRF, aplicación requerida en cualquier proyecto que se realiza en el país.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se procedió a hacer el cambio de época de los puntos procesados en el software Magna Pro 4.0, seleccionando el modelo de velocidades VEMOS2009, y la época inicial como la 2019.8.

Obtenidas las coordenadas geocéntricas en el ITRF2014 época 2018.0, se procedió a realizar la conversión de coordenadas en el software Magna Pro 4.0 (ver **Tabla 14**).

**Tabla 14.** Cuadro de coordenadas Gauss Krueger época 2018.0.

NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	PLANCHA
1023774.428	1049438.856	1729.860	AUX50	Central	228-II-D-3
1024336.069	1049909.975	1836.132	D1	Central	228-II-D-3
1024287.250	1049868.131	1821.390	D2	Central	228-II-D-3
1024231.697	1049576.195	1790.071	D3	Central	228-II-D-3
1024150.407	1049576.299	1780.870	D4	Central	228-II-D-3
1023798.650	1049423.369	1730.995	D5	Central	228-II-D-3

NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	PLANCHA
1023850.603	1049387.807	1734.174	D6	Central	228-II-D-3
1024498.181	1049108.381	1775.517	GPS1	Central	228-II-D-3
1024279.070	1050064.934	1879.092	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024102.326	1049584.467	1778.360	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024027.822	1049640.649	1776.286	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023959.578	1049670.934	1776.861	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024516.263	1049878.450	1857.023	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024490.366	1049690.912	1836.816	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024416.049	1049636.585	1824.045	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024331.561	1049701.012	1815.224	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024239.020	1049582.721	1791.262	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024345.393	1049587.694	1811.407	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024517.938	1049727.751	1849.850	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024297.901	1049486.386	1803.938	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024297.082	1049486.892	1803.758	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024297.744	1049487.868	1803.672	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024245.782	1049543.171	1794.398	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024035.115	1049410.420	1780.288	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023832.334	1049429.647	1738.288	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023924.118	1049333.428	1739.976	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024148.839	1049577.049	1780.907	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023922.055	1049563.859	1757.844	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023965.615	1049583.939	1761.456	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023966.838	1049590.300	1759.794	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023806.929	1049620.002	1761.199	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023778.405	1049706.854	1764.507	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023701.259	1049579.729	1747.941	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023576.186	1049526.355	1721.466	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023695.632	1049453.278	1727.266	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023645.568	1049425.601	1717.026	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023527.439	1049305.095	1682.687	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023606.498	1049281.529	1691.612	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023712.110	1049279.502	1697.377	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023733.317	1049290.939	1702.578	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023733.305	1049290.876	1702.572	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023688.682	1049253.991	1685.125	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023740.541	1049336.005	1713.172	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1023837.719	1049308.882	1719.962	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3

NORTE	ESTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	PLANCHA
1024043.791	1049229.638	1752.997	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3
1024068.524	1049215.455	1752.787	PTO CONTROL	Central	228-II-D-3

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

El detalle de los resultados del procesamiento, como el informe de ajuste en red y de la nube de puntos, se puede observar en el anexo de topografía en la carpeta 8. *Procesamiento GNSS*.

### 2.3 Levantamiento convencional

Una vez posicionado los puntos de referencia se dispuso a realizar el levantamiento batimétrico con equipo convencional, se utilizaron los 6 deltas y demás auxiliares para así realizar el correcto traslado de coordenadas referidas a la red MAGNA SIRGAS, origen Bogotá. El levantamiento se ejecutó en el cauce permanente de la quebrada La Esperanza aguas arriba en la coordenada E: 1049907 m N: 1024374 m, hasta la coordenada E: 1049440 m N: 1023772 m en la intersección con la vía Gachetá-Ubalá, con secciones hidro topográficas cada 20 metros y nivel de precisión superior a 20 cm.

Para tal fin, se utilizó una estación topográfica marca Topcon GTS 233W (ver Figura 22) cuya precisión en ángulo es de 3" y distancia 2 mm. Para este levantamiento no fue necesario realizar una poligonal puesto que los 6 deltas que se instalaron fueron levantados con la metodología Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real (RTK), lo cual permite tener coordenadas precisas en tiempo real. Desde estos deltas fueron radiados 53 auxiliares con el fin de abarcar en su totalidad el área referente al cauce de la quebrada y detalle estructurales como fueron boxculvert, gaviones, cajas, tuberías, entre otros.

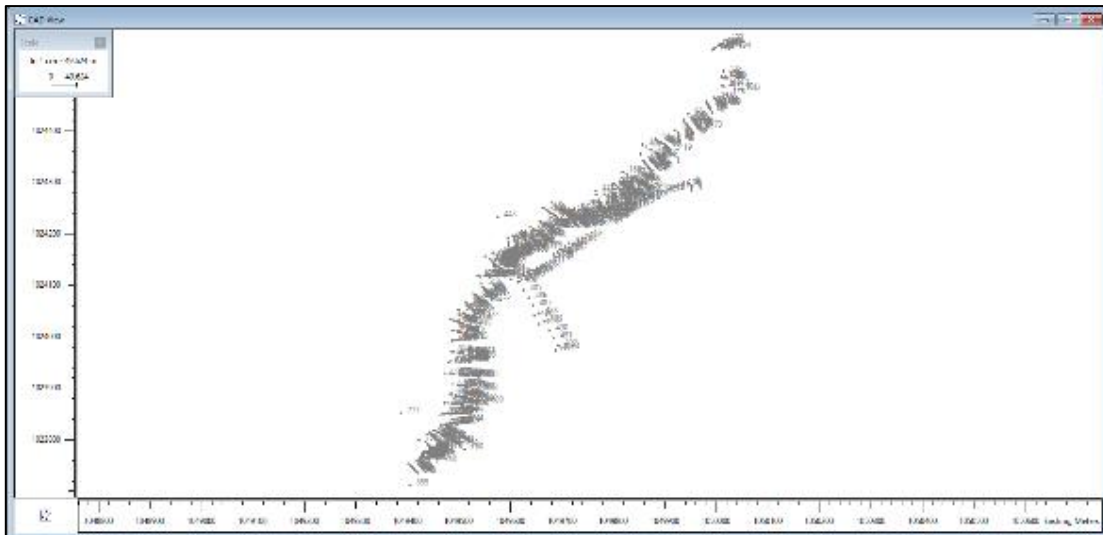


**Figura 22.** Levantamiento de información topográfica con Estación Topcon GTS 233W.

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 2.3.1 Procesamiento del levantamiento convencional

Se realizó una radiación tomando como puntos de referencia los deltas georreferenciados con la antena GPS mediante el método RTK y los 53 auxiliares medidos desde los deltas, posteriormente se descargaron los datos obtenidos y se procesaron con el programa Topcon Link que permite de forma rápida y precisa calcular coordenadas de cada una de las radiaciones tomadas en campo. En la Figura 23 se observan que se radiaron detalles tanto de las secciones hidro topográficas como de la vía cercana.



**Figura 23.** Esquema de levantamiento de detalles por estación total.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

En el anexo de topografía, carpeta 9. *Cálculos de levantamiento convencional*, podrá encontrar el proyecto en Topcon Link donde se procesó la radiación de los elementos tomados en campo, además encontrará el curdo y la nube de puntos del levantamiento batimétrico a detalle.

### 2.3.2 Amarre de todos los datos levantados en campo a cotas reales sobre el nivel del mar

Mediante el aplicativo Magna SIRGAS Pro 4.0 se obtuvo la ondulación geoidal, utilizando el modelo GEOCOL2004 que proporciona las alturas geoidales que se usan en la determinación de alturas físicas. Seguido a esto se calculó la altura Ortométrica de la nube de puntos con la siguiente ecuación:

$$H=h-N$$

Donde:

$H$  = Altura Ortométrica.

$h$  = Altura Elipsoidal.

$N$  = Ondulación geoidal.



Somos **VIDA**  
Todos **Confianza**  
**Desarrollo**

REALIZAR LOS ESTUDIOS NECESARIOS Y SUFICIENTES PARA EL ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA ESPERANZA A LA ALTURA DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GACHETÁ, DESDE LA COORDENADA E: 1.049.907 M N: 1.024.374 M, HASTA LA COORDENADA E: 1.049.440 M N: 1.023.772 M, PARA UNA LONGITUD APROXIMADA DE 900 M.



## FASE 3. LEVANTAMIENTO LIDAR



En este numeral se describe el levantamiento topográfico mediante un vuelo UAS-LIDAR el cual tiene por objeto el recubrimiento de la quebrada La Esperanza en un corredor de 250 metros en cada margen garantizando la calidad del producto final y la cobertura total del área.

La información obtenida en el vuelo no tripulado se encuentra complementada con la nube de puntos

### 3.1 Equipos y elementos

El equipo utilizado en campo fue el siguiente:

- Phantom 4 Pro, cuenta con un sensor efectivos CMOS de 1": 20M, un lente FOV 84 ° 8.8 mm / 24 mm, una resistencia máxima a la velocidad del viento de 10m/s y un tiempo máximo de vuelo de 30 minutos aproximadamente (Ver **Figura 24**).



**Figura 24.** Phantom 4 Pro.

Fuente: Tomada del sitio web <https://bit.ly/2Qw10gj>

- Accesorios y elementos complementarios.

Equipo de oficina:

- Software Pix 4D y Agisoft PhotoScan.
- Computador portátil.

#### 3.1.1 Procedimiento en campo

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del Dron y de la planeación se dividió el

levantamiento del área de interés en dos vuelos llevados a cabo el 29 y 30 de octubre del 2019. Para lo cual, como se mencionó en el punto 2.2, se materializó una red de apoyo para el levantamiento lidar compuesta por 30 vértices GNSS temporales de control (ver **Figura 25**), se procedió a efectuar un chequeo de funcionalidad, validando el correcto funcionamiento de la cámara, la unidad de movimiento inercial y el sistema de posicionamiento global. Al no presentar inconvenientes durante la realización del vuelo, se procesó la información de las fotografías con el objeto de validar la correcta alineación y correlación entre estas.



**Figura 25.** Fotocontrol.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

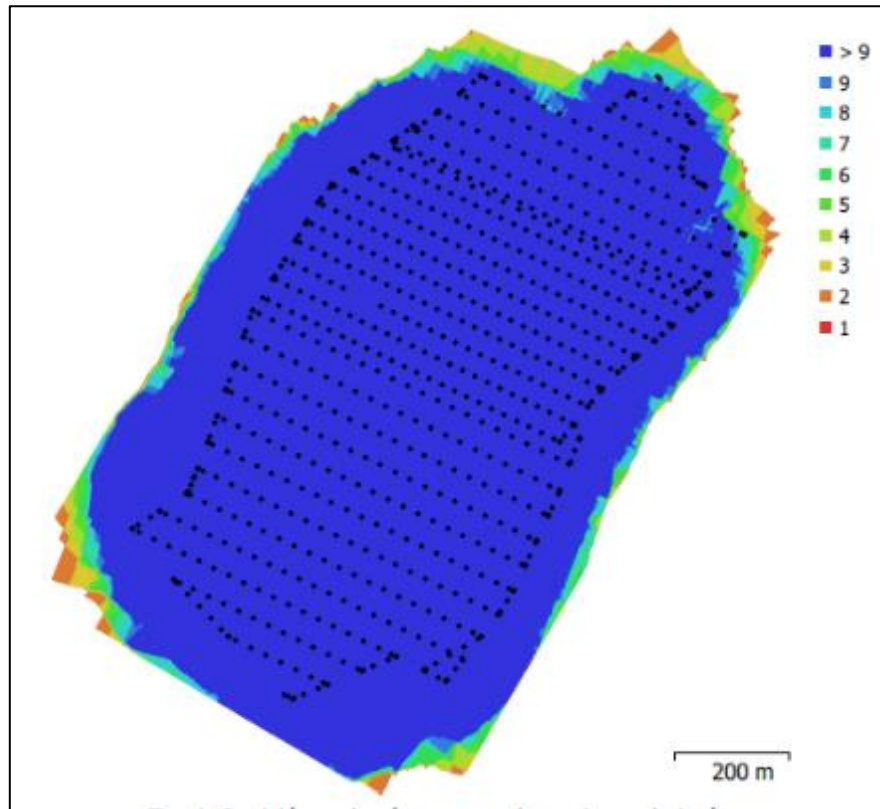
### 3.1.2 Datos del levantamiento

En la Tabla 15 se muestran los datos obtenidos para el procesamiento de la información, en total se abarcaron 1 Km<sup>2</sup> (400 m<sup>2</sup> aproximadamente adicionales al área de interés) con una altura media de vuelo de 144 metros y tomando 800 imágenes (Ver **Figura 26**), posteriormente ajustadas para la elaboración del ortomosaico.

**Tabla 15.** Datos obtenidos durante el levantamiento LIDAR

<b>Número de imágenes:</b>	800	<b>Posiciones de cámara:</b>	800
<b>Altitud media de vuelo:</b>	144 m	<b>Puntos de enlace:</b>	450773
<b>Resolución en terreno:</b>	5.44 cm/pix	<b>Proyecciones:</b>	2211303
<b>Superficie cubierta:</b>	1 Km <sup>2</sup>	<b>Error de reproyección:</b>	0.886 pix

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 26.** Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

La información fue tomada con la cámara de alta resolución, un lente de 3.61 mm que permitía obtener imágenes de una resolución de 4000 x 3000. La especificación de la cámara se encuentra completa en la Tabla 16. Por otro lado, los coeficientes de calibración y la matriz de correlación de datos tomados durante el levantamiento de la imagen, se muestran en la **Tabla 17.**

**Tabla 16.** Datos de la cámara.

Modelo de cámara	Resolución	Distancia Focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC330 (3.61 mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras	No

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

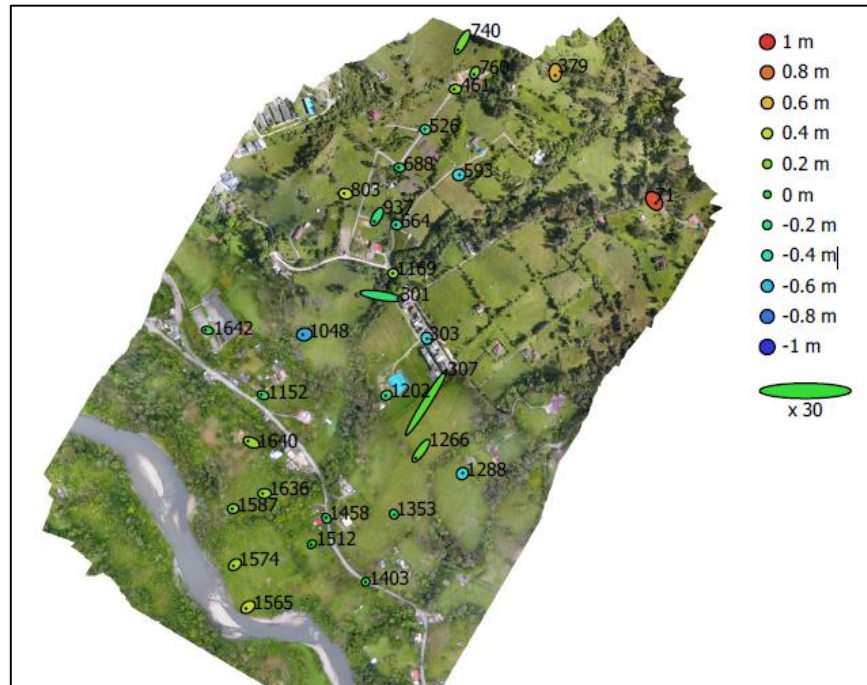
**Tabla 17.** Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

	Valor	Error	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	2311.25											
Cx	-32.4752	0.01	1.00	-0.01	0.05	-0.10	-0.01	0.00	-0.00	-0.00	0.57	-0.01
Cy	-3.7152	0.0094		1.00	0.10	0.05	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.49
B1	-3.12227	0.0032			1.00	0.01	0.03	-0.03	0.03	-0.02	-0.01	-0.01
B2	-0.626282	0.0032				1.00	-0.02	0.00	-0.00	0.00	0.01	-0.01
K1	0.00883378	3.4e-05					1.00	-0.90	0.86	-0.82	-0.05	-0.02
K2	-0.0322336	0.0001						1.00	-0.99	0.96	-0.00	-0.00
K3	0.0328356	0.00013							1.00	-0.99	0.01	0.00
K4	-0.0124951	5.8e-05								1.00	-0.01	-0.00
P1	-0.000168094	1.1e-06									1.00	0.00
P2	9.7188e-05	9.2e-07										1.00

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Para obtener una mayor exactitud de los datos obtenidos, se realizó una definición de puntos de control, en campo se tomaron 40 puntos de control mediante la metodología RTK, sin embargo, durante el procesamiento solo se utilizaron 30 puntos, considerados suficientes dado que se distribuyeron a lo largo del área de estudio con la finalidad de asegurar una mayor precisión de la información fotogramétrica levantada (ver **Figura 27**).

En la **Tabla 13** del presente informe se muestran los puntos de control utilizados para orientar y para asegurar la precisión de los productos.



**Figura 27.** Puntos de control terrestres.  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 3.1.3 Procesamiento de información

Consistió en la alineación de las fotografías tomadas y la georreferenciación de estas a partir de los puntos de foto control, finalizando la actividad con la captura de 800 imágenes con una resolución del terreno de 5.44 cm/pix abarcando un área de 1 km<sup>2</sup>.

Después de orbitar y alinear las fotografías y haber añadido los puntos de control, se procedió a generar la nube de puntos densa con la cual se generó el modelo digital de terreno y el ortomosaico (ver **Figura 28**).



**Figura 28.** Ortomosaico generado.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 3.1.4 Resultados

A continuación, en la **Tabla 18** se observan de forma resumida los resultados obtenidos del procesamiento del vuelo UAS-LIDAR. La demás información referente al procesamiento del vuelo

no tripulado como lo es: la posición de las cámaras, el informe de procesamiento, el ortomosaico y el modelo se encuentra en el anexo de topografía carpeta 10. *Vuelos UAS-LIDAR.*

**Tabla 18.** Resumen de los parámetros de procesamiento.

<b>NUBE DE PUNTOS</b>	
Puntos	450,773 de 540,229
RMS error de reproyección	0.231313 (0.88611 pix)
Error de reproyección máximo	0.703767 (63.1044 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.38594 pix
Superposición efectiva	6.27919
Precisión	Alta
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
<b>NUBE DE PUNTOS DENSA</b>	
Puntos	145,463,215
<b>MODELO</b>	
Caras	28,996,079
Vértices	14,503,630
Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Calidad	Alta
<b>DEM</b>	
Tamaño	13,119 x 15,027
Sistema de coordenadas	MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogota zone (EPSG::3116)
<b>ORTOMOSAICO</b>	
Tamaño	23,208 x 24,428
Canales	3, uint
Realizar el relleno de agujeros	Sí

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

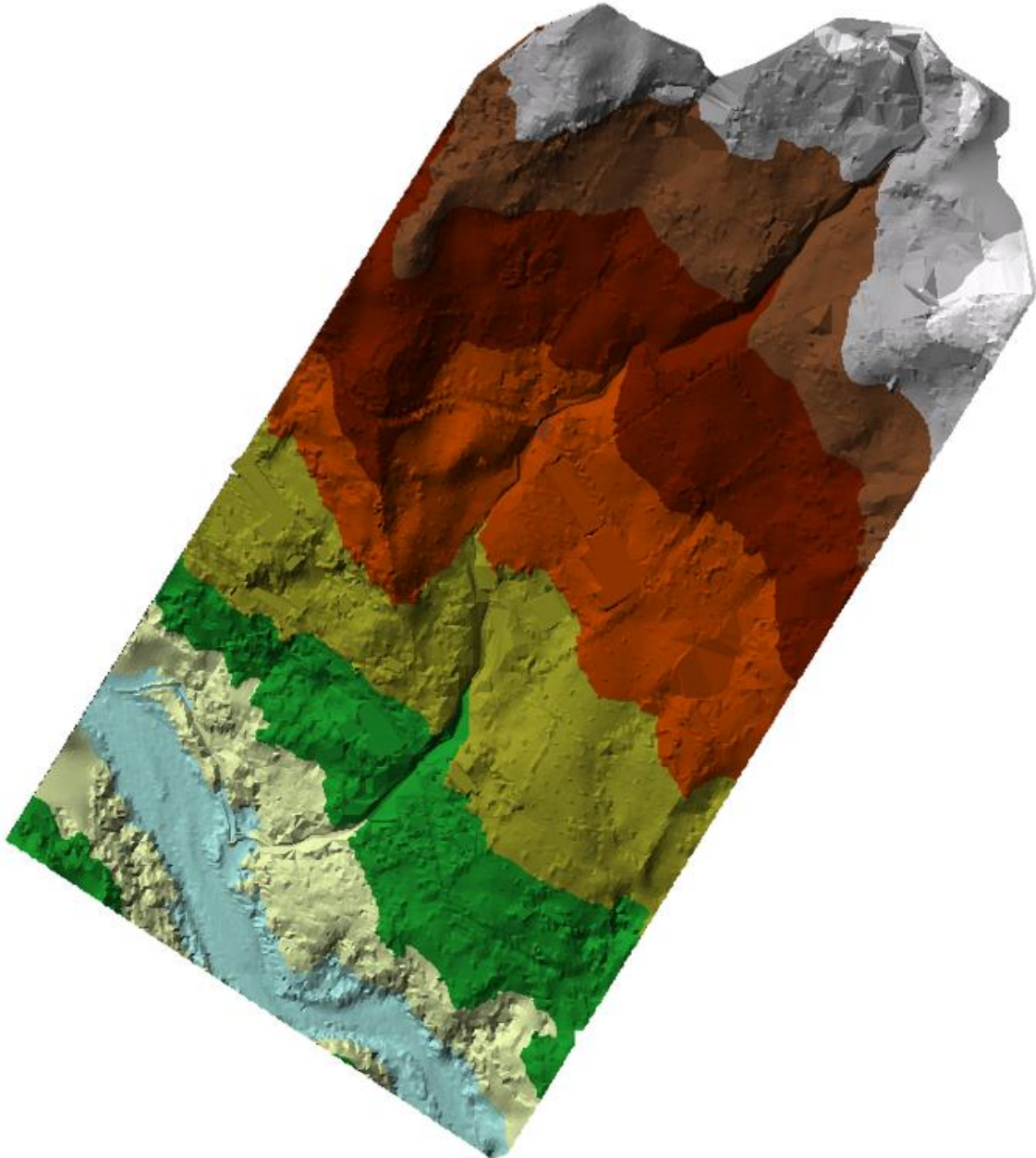


**Somos** VIDA  
*Todos* Confianza  
Desarrollo

REALIZAR LOS ESTUDIOS NECESARIOS Y SUFICIENTES PARA EL ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA ESPERANZA A LA ALTURA DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GACHETÁ, DESDE LA COORDENADA E: 1.049.907 M N: 1.024.374 M, HASTA LA COORDENADA E: 1.049.440 M N: 1.023.772 M, PARA UNA LONGITUD APROXIMADA DE 900 M.



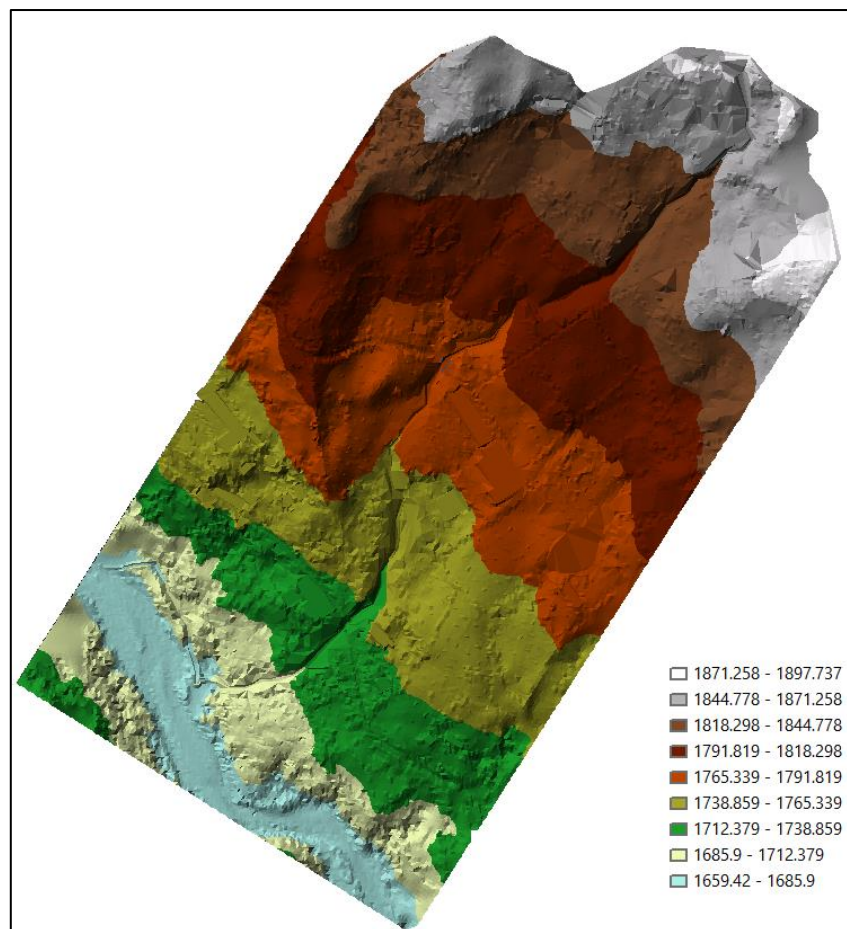
## **FASE 4. GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL Y MODELO DIGITAL DEL TERRENO MDT**



## 4.1 Generación DEM

Con los datos de la batimetría y la topografía detallada de la zona perimetral al cauce permanente del cuerpo de agua, se construyó un Modelo Digital de Terreno, teniendo en cuenta que debe ser complementado con la información resultante del vuelo UAS-LIDAR obteniendo un DEM con una resolución de 10.9 cm/pix y una densidad de puntos de 83.4 puntos/m<sup>2</sup>.

El procedimiento se llevó a cabo en el software AutoCAD 3D en donde se unificaron los datos de los procedimientos mencionados anteriormente, nube de puntos batimétrico, nube de puntos con levantamiento RTK y nube de puntos densa del vuelo UAS-LIDAR, este último permitió detallar y corregir algunas imperfecciones, sin embargo, fue necesario crear líneas de rotura que detallara la zona de la quebrada, paramentos, vías, entre otros (ver **Figura 29**). Para poder visualizar el DEM en el anexo de topografía en la carpeta 12. MDT.

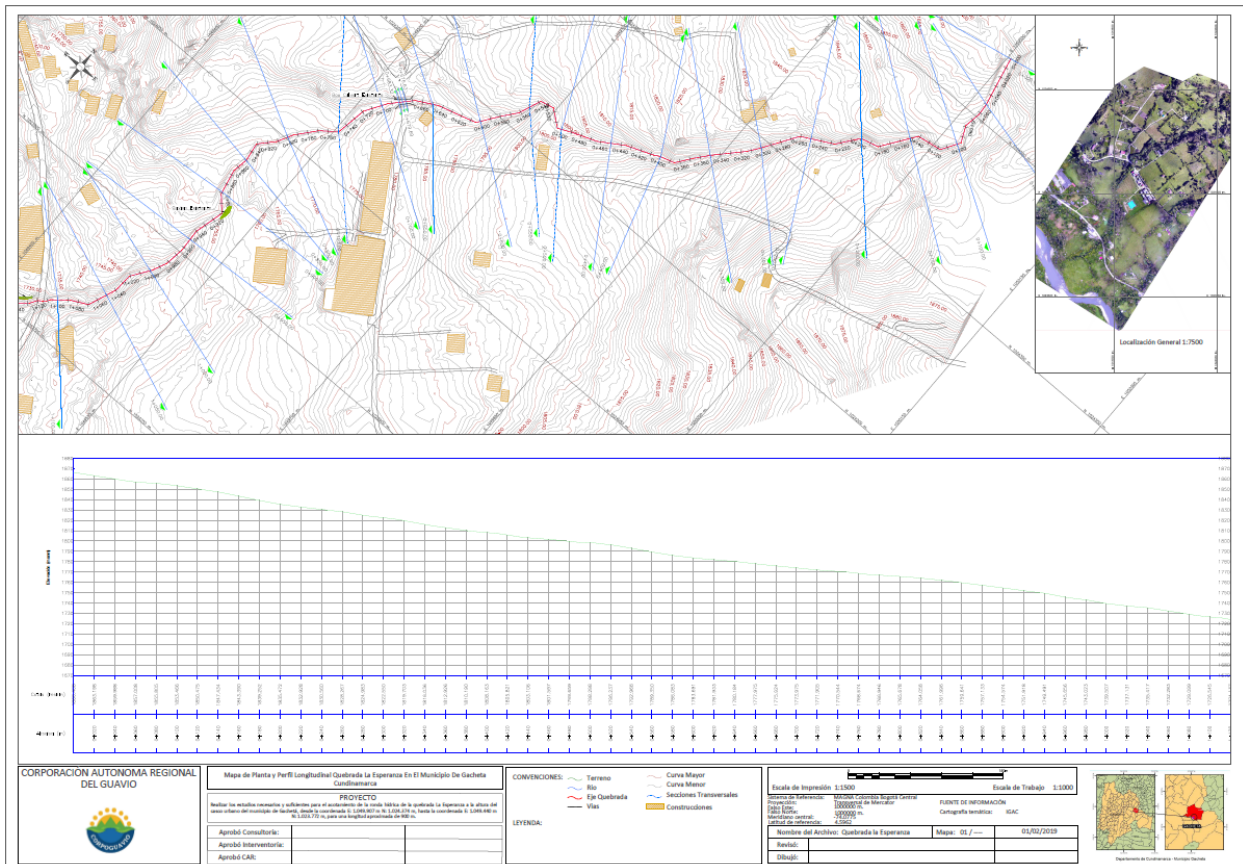


**Figura 29.** MDT quebrada La Esperanza y área aferente.  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

### 4.1.1 Cartografía digital

Para la clasificación y organización de la nube de puntos, se utilizó el programa AutoCAD Civil3D, el cual permite filtrar puntos por descripción y crear una superficie en base a los puntos de nivel tomados. Este levantamiento batimétrico se complementa con los datos recolectados por el levantamiento topográfico de detalle realizado con la metodología RTK y la nube de puntos densa del vuelo UAS-LIDAR.

Para la salida gráfica se dibujaron cada 50 metros las secciones transversales para un total de 34, con un ancho de 35 a 130 metros a cada costado variando según la sección. Se realizó el perfil longitudinal del eje del cauce donde se observa que inicia aguas arriba con cota de 1866.408 m hasta la cota 1682.284 m para una diferencia de nivel de 184.124 metros. Finalmente se representa en 12 planos tanto la información planimétrica como altimétrica como se observa en la Figura 30, para poder visualizar todas las cartografías dirijase a anexo de topografía carpeta 11. Planos y secciones transversales.



**Figura 30.** Cartografía digital.  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

#### 4.1.2 Corrección de cauces e integración con los datos batimétricos

Se debe considerar la corrección de cauces e integración con los datos batimétricos para la generación de los modelos, integrando los levantamientos con estación y LIDAR, en vista que son metodologías complementarias, y ambas suplen y corrigen las falencias de la otra. Es decir, la información fotogramétrica no toma detalles bajo árboles o estructuras, más sin embargo con la estación total sí.

Igualmente sucede con el RTK, que no tiene buena precisión bajo una densa capa de cobertura vegetal o elementos que generen algún tipo de obstrucción, mientras que, en zonas rurales con espacios abiertos, los puntos RTK son quienes brindan una mayor precisión. Por ende, en el proceso de corrección de cauces e integración con los datos batimétricos, se busca integrar la información para la generación de los modelos.

#### 4.1.3 Generación de curvas de nivel

A partir del Modelo Digital de Terreno se generarán curvas de nivel con una equidistancia de 20 cm., las cuales deben ser suavizadas acorde a las morfologías del terreno y editadas en la zona urbana de acuerdo a los elementos propios.

#### 4.1.4 Captura de puntos representativos del terreno

Además de las curvas de nivel se deberán contemplar puntos de cota que capturarán los puntos que representen el terreno de manera más significativa y que se consideren clave para la definición correcta de la superficie terrestre.

#### 4.1.5 Estructura GDB

Los productos geográficos obtenidos en el marco del desarrollo de los estudios necesarios y suficientes para el acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada La Esperanza en el municipio de Gachetá, se dispone en una base de datos geográfica parametrizada de acuerdo a los estándares formulados como se presenta en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Parámetros del sistema de coordenadas MAGNA\_SIRGAS

Sistema de referencia	GSC_CarMAGBOG	
Elipsoide	GRS80 Mod	
Proyección cartográfica	Transversa de Mercator	
Coordenadas origen	Meridiano central	74,14659167 W
	Latitud de referencia	4,680486111 N
Plano de proyección	1000 m	

Sistema de referencia	GSC_CarMAGBOG	
Coordenadas cartesianas	Falso Este	1'061.900,180 m
	Falso Norte	872.364,630
Factor de escala	1	
Nombre unidad lineal	Metro	
Metros por unidad	1	

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

La base de datos "Quebrada\_La\_Esperanza" está conformada por cinco (5) dataset, cada uno corresponde a uno de los temas abordados en el presente estudio y cuatro (4) archivos en formato raster, en la Figura 31 se presenta la arquitectura de la GDB.

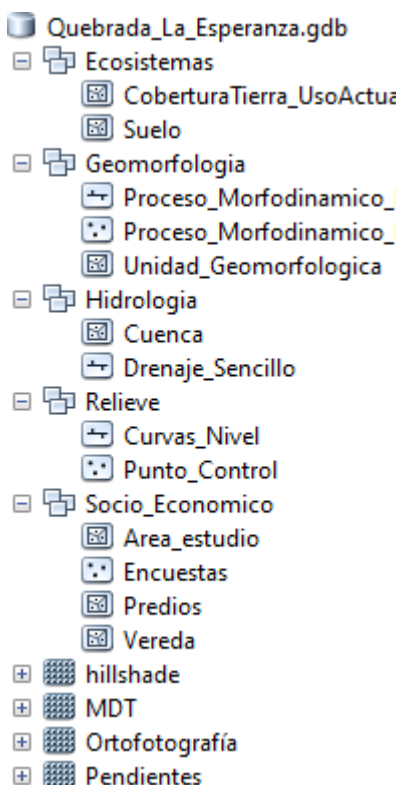


Figura 31. Estructura GDB

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

El Dataset Ecosistemas contiene los Feature class que permiten caracterizar la cobertura de la tierra en cuanto a su uso actual y el tipo de suelo presentes en el área cubierta por la cuenca de la quebrada La esperanza.

En el Dataset de Geomorfología se encuentran los Feature class de unidades geomorfológicas y los rasgos morfodinámicos representados como línea y como punto.

En el Dataset de Hidrología fueron almacenados los Feature class del límite de la cuenca de la quebrada La Esperanza y el drenaje sencillo que representa la quebrada objeto de estudio.

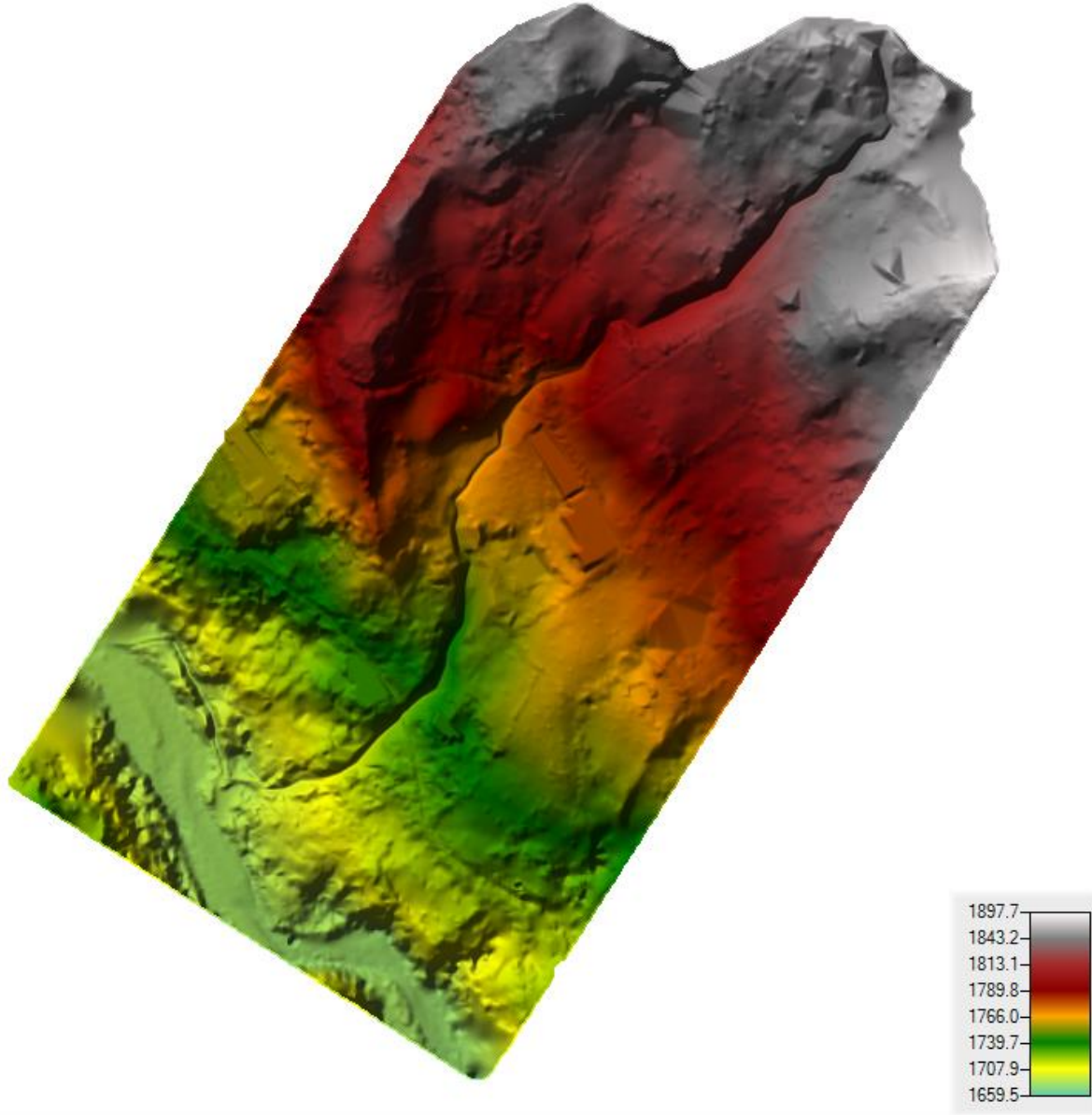
El Dataset Relieve almacena los Feature class que describen la topografía del terreno, como son las curvas de nivel cada metro y los puntos de control que se distribuyen en el área de estudio.

Por último, el Dataset Socioeconómico contiene el límite del área de estudio, la georreferenciación de las encuestas realizadas, la distribución predial y el límite de vereda.

La GDB contiene cuatro (4) ráster Dataset, de estos tres (3) modelos describen la topografía del terreno y uno contiene la ortofotografía.



## FASE 5. MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA



## 5.1 Caracterización hidrográfica de la quebrada La Esperanza y su cuenca aferente

De acuerdo a la metodología de la zonificación de unidades hidrográficas expuesta por el IDEAM, la quebrada La Esperanza pertenece al área hidrográfica del Orinoco (3), a la zona hidrográfica del Meta (35) y a la subzona hidrográfica correspondiente al área del río Guavio (3506).

La quebrada La Esperanza nace en la vereda Resguardo 1 del municipio de Gachetá a una altitud de 2374.8 msnm y desemboca en el río Guavio en el casco urbano del mismo a una altitud de 1686.0 msnm. La cuenca posee un área de 2.19 km<sup>2</sup>, un perímetro de 7.93 km y una longitud del cauce principal de 2.93 km, con una pendiente media de la cuenca de 34.06% representativa de un relieve fuertemente accidentado, de alta influencia sobre las crecidas instantáneas y tiene una pendiente media de su cauce principal de 18.49% que se considera alta.

Por otro lado, la densidad de drenaje para la cuenca de la quebrada La esperanza es bien drenada, en donde se puede determinar que la quebrada presenta una buena respuesta ante un evento máximo (creciente súbita) que pueda ocurrir en la cuenca.

Adicionalmente, la quebrada La Esperanza, se puede considerar como un sistema lótico con modificaciones considerables en su morfología, teniendo en cuenta que ha habido alteraciones morfológicas en la forma natural del cauce permanente y su conexión con la ribera, principalmente debido a la existencia de muros, puentes, u otra infraestructura que ha modificado el régimen natural de flujo.

### 5.1.1 Aspectos generales

#### - **Objetivos**

El objetivo general es determinar las características morfométricas de la cuenca de la quebrada La Esperanza a una escala 1:10.000, de acuerdo a la cartografía disponible.

Los objetivos específicos son:

- Determinar las características morfométricas de la cuenca de la quebrada La Esperanza delimitada
- Evaluar el efecto de las características morfométricas sobre el régimen hídrico de la cuenca.

#### - **Información utilizada**

- ✓ Información primaria

La información primaria utilizada correspondió a la levantada directamente en oficina y campo, así:

- Modelo de elevación digital de 15 x 15 m, para delimitar la cuenca de la quebrada La Esperanza y calcular las características morfométricas de la cuenca.
- Modelo Digital de Terreno construido con los datos de la batimetría y la topografía detallada de la zona perimetral al cauce permanente del cuerpo de agua.

✓ Información secundaria

Se utilizó la siguiente información disponible:

- Cartografía a escala 1:10.000 con cobertura en toda la cuenca, obtenida del IGAC (Plancha 228IID3), e información suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Guavió.

- **Metodología**

La metodología para la determinación de las características morfométricas fue la siguiente:

➤ Cálculo de las características morfométricas:

Las características morfométricas corresponden a la aplicación de procedimientos que, a través del estudio de la morfología y geomorfología, caracterizan los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permiten comparar en forma exacta una parte de la superficie terrestre con otra. Estos parámetros están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca, ya que es una función compleja de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la forma del terreno en el cual se desarrolla el fenómeno. Las formas de la superficie terrestre, y en particular su situación en altitud, tienen influencia decisiva sobre los más importantes factores condicionantes del régimen hidrológico, como precipitación, escorrentía, infiltración y formación de depósitos y sedimentos. Los valores morfométricos son fundamentales para documentar la analogía territorial y establecer relaciones hidrológicas de generalización y expresan en valores simples las características de paisajes complejos.

A continuación, se presenta el cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Esperanza, a partir de la cartografía a una escala 1:10.000, la cual tiene como punto de cierre las coordenadas E: 1.049.907 m y N: 1.024.374 m.

A partir de los insumos como el Modelo Digital de Terreno, la red de drenaje y la delimitación de la cuenca, se calcularon los parámetros morfométricos y los tiempos de concentración.

### 5.1.2 Parámetros físicos de la cuenca

#### - Área de drenaje de la cuenca (AC) km<sup>2</sup>

Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El sitio que recoge toda la escorrentía que se produce en una cuenca hidrográfica se denomina punto de concentración o punto de cierre de la cuenca.

El área de drenaje de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 2.19 km<sup>2</sup>.

#### - Perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea divisoria de la cuenca, es un parámetro importante, pues en conexión con el área permite inferir sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P.

El perímetro de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 7.93 km.

#### - Longitud recta de la cuenca

Es la longitud de una línea recta con dirección "paralela" al cauce principal. La longitud recta de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 2.62 km.

#### - Ancho de la cuenca (w) [Km]

Es la relación entre el área de drenaje de la cuenca y la longitud de la misma. El ancho de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 0.83 km.

### 5.1.3 Parámetros de forma de la cuenca

Los factores geológicos, principalmente, son los encargados de moldear la fisiografía de una región y particularmente la forma que tienen las cuencas hidrográficas.

Para explicar cuantitativamente la forma de la cuenca, se compara la cuenca con figuras geométricas conocidas como lo son: el círculo, el óvalo, el cuadrado y el rectángulo, principalmente.

#### - 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 que el de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

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

Dónde:

P: Perímetro de la cuenca [km]

A: Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

Este valor adimensional, independiente del área estudiada, tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc mayor será la concentración de agua. Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro, según la **Tabla 20**:

**Tabla 20.** Índice de compacidad para la evaluación de la forma

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1.0 a 1.25	Forma redonda a oval redonda
Kc2	1.25 a 1.5	Forma oval redonda a oval oblonga
Kc3	> 1.5	Forma oval oblonga a rectangular oblonga

**Fuente:** Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, 2010

El índice de compacidad o índice de Gravelius de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 1.51, correspondiente a una descripción de la cuenca de forma oval oblonga a rectangular oblonga.

#### - Factor de forma (Kf)

Índice propuesto por Gravelius. Es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños.

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

El factor de forma se analiza con respecto a lo que se muestra en la **Tabla 21**.

**Tabla 21** Clasificación del factor de forma

$K_f$	Característica
<1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
>1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

**Fuente:** Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, 2010

El factor de forma de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 0.32, correspondiente a una característica de la cuenca que tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.

- **Índice de alargamiento**

Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal, y el ancho máximo de ella. Éste define si la cuenca es alargada, cuando su valor es mucho mayor a la unidad, o si es muy achatada, cuando son valores menores a la unidad (ver **Tabla 22**).

$$I_A = \frac{L}{A_n}$$

Dónde:

L: Longitud de la cuenca

An: Ancho de la cuenca

**Tabla 22.** Índice de alargamiento

$I_A$	Característica
$I_A > 1$	Cuenca alargada
$I_A < 1$	Cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto

**Fuente:** Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, 2010

El índice de alargamiento de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 3.14, correspondiente a una cuenca alargada.

- **Índice asimétrico**

Es la relación del área de las vertientes, mayor ( $A_{mayor}$ ) y menor ( $A_{menor}$ ), las cuales son separadas por el cauce principal. Este índice evalúa la homogeneidad en la distribución de la red de drenaje, pues si se tiene un índice mucho mayor a 1 se observará sobre la cuenca que el río principal estará recargado a una de las vertientes, lo cual implica una heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje, aumentando la descarga hídrica de la cuenca a esta vertiente, lo que incrementa en cierto grado los niveles erodabilidad a causa de los altos eventos de escorrentía superficial obtenidos. A continuación, se presenta la ecuación que define el índice asimétrico como, cuyo análisis se interpreta conforme a la **Tabla 23**:

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

Dónde:

$I_{AS}$ : Índice asimétrico (adimensional)

$A_{mayor}$ : Vertiente mayor (km<sup>2</sup>)

$A_{menor}$ : Vertiente menor (km<sup>2</sup>)

**Tabla 23.** Índice asimétrico

$I_{AS}$	Característica
$I_{AS} > 1$	Cauce principal bastante recargado a una de las vertientes
$I_{AS} = 1$	Distribución uniforme del cauce principal

**Fuente:** Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, 2010

El índice asimétrico de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 0.35, la cual corresponde que el cauce se encuentra bastante recargado hacia la vertiente de la margen derecha del cauce principal.

#### 5.1.4 Características de relieve de la cuenca

Son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; con carácter general se puede decir que a mayor relieve o pendiente, la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

##### - Pendiente media de la cuenca

La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca; su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes se presentan con mayor frecuencia los

problemas de erosión; mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación.

De acuerdo con el uso del suelo y la red de drenaje, la pendiente influye en el comportamiento de la cuenca, afectando directamente el escurrimiento de las aguas lluvias; esto es, en la magnitud y en el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal. En cuencas de pendientes fuertes, existe la tendencia a la generación de crecientes en los ríos en tiempos relativamente cortos; estas cuencas se conocen como torrenciales, igual que los ríos que las drenan. En la **Tabla 24**, se muestra la clasificación de las cuencas según la pendiente.

**Tabla 24.** Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Medianamente accidentado
12 -20	Accidentado
20 - 35	Fuertemente accidentado
35 - 50	Muy fuertemente accidentado
50 - 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

**Fuente:** Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, 2010

La pendiente media de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 34.06%, que según la clasificación de la Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, puede clasificarse como fuertemente accidentado.

- **Elevación media de la cuenca**

Es la variación altitudinal de la cuenca hidrográfica, que incide directamente sobre el clima y por tanto sobre el régimen hidrológico, además de brindar una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas diferentes dentro de la misma cuenca. Una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación, es a través de la función hipsométrica.

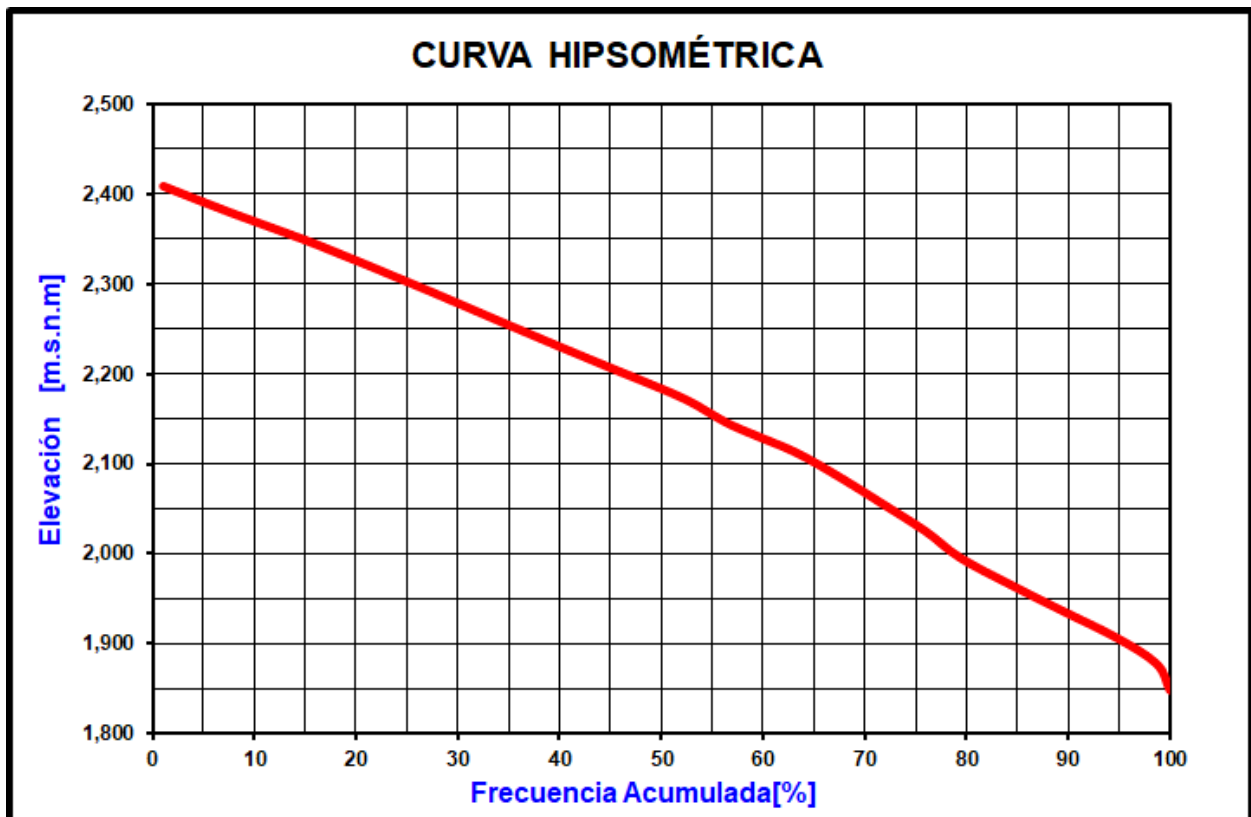
Esta función o característica se determina a partir de la "curva hipsométrica" de la cuenca. La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación de la elevación de una cuenca, en la cual puede observarse la distribución de las zonas altas, medias y bajas.

La curva hipsométrica representa, entonces, el porcentaje de área acumulada que es igualado o excedido a una determinada cota.

La elevación media de una cuenca puede calcularse como:

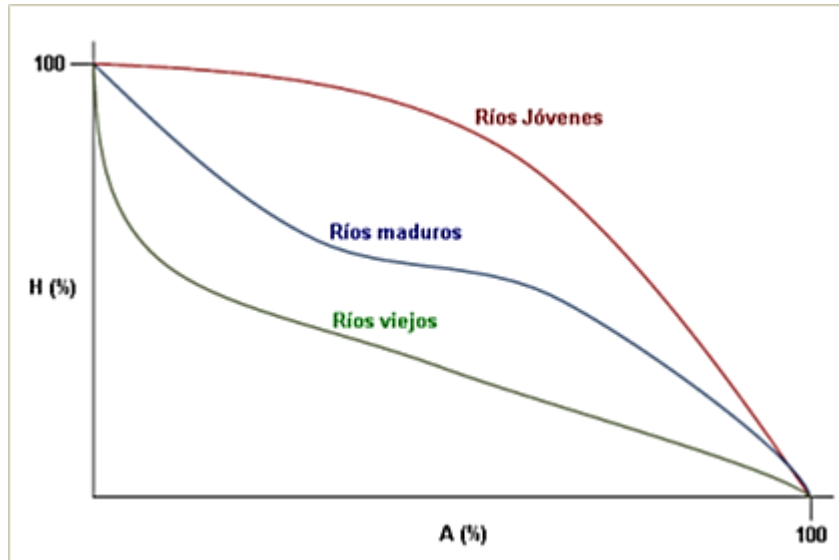
$$H_{media} = \frac{\sum Area * Alt. media_i}{\sum Area}$$

De acuerdo a la reclasificación realizada al modelo de elevación digital, se clasificaron las elevaciones en 20 rangos iguales, lo cual permite estimar la curva hipsométrica que se presenta en la **Figura 32**.



**Figura 32.** Curva hipsométrica cuenca de la quebrada La Esperanza  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Adicionalmente, las curvas hipsométricas también pueden indicar diferentes estados de evolución o las edades de los ríos y el equilibrio de la cuenca, tal como se describe en el siguiente gráfico (ver **Figura 33**).



**Figura 33.** Clasificación de los ríos de acuerdo a la curva hipsométrica

**Fuente:** Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, 2010

En la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la clasificación del río de acuerdo a la curva hipsométrica para la cuenca de la quebrada La Esperanza, de la cual se obtuvo, según la curva mencionada, que es un río maduro.

### 5.1.5 Características del sistema de drenaje

#### - Longitud del cauce (L) [Km]

Es la longitud del cauce principal, medida desde el punto de concentración hasta el tramo de mayor longitud del mismo.

Generalmente, los caudales medios, máximos y mínimos, crecen con la longitud de los cauces. Según Londoño 2001, esto se debe a la normal relación que existe entre las longitudes de los cauces y las áreas de las cuencas hidrográficas correspondientes, de tal manera que el área crece con la longitud y la superficie de captación.

La longitud del cauce principal de la cuenca de la quebrada La Esperanza es de 2.93 km.

#### - Perfil del cauce

El perfil longitudinal de un río es muy característico. La línea que dibuja la quebrada desde su nacimiento hasta el sitio de estudio se representa gráficamente como una curva cuya forma ideal

es la de una curva exponencial cóncava hacia arriba, en la cabecera, y a la altura del nivel de base, en la desembocadura.

La profundidad y el ancho del lecho aumentan aguas abajo, en la medida que disminuye la pendiente. Esto es debido a que aguas abajo aumenta el caudal y disminuye la velocidad, por lo que la carga material transportada cambia de gruesa a fina.

- **Pendiente media del cauce**

Es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo.

$$P_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} * 100$$

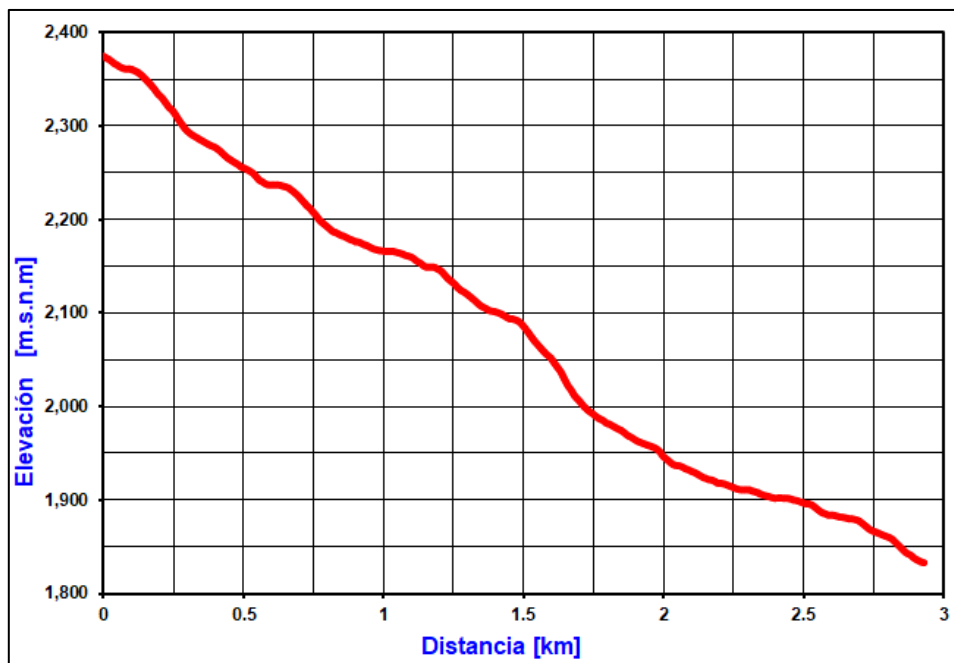
Dónde:

$P_m$  : Pendiente media

$H_{max}$  : Cota Máxima

$H_{min}$  : Cota Mínima

$L$  : Longitud del Cauce



**Figura 34.** Perfil del cauce cuenca de la quebrada La Esperanza

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Al desarrollar la fórmula se tiene que el valor de la pendiente es de 18.49%.

### 5.1.6 Tiempo de concentración

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para la estimación del tiempo de concentración se recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes (Ven Te Chow, 1994).

✓ Fórmula de Kirpich (1940)

Calcula el tiempo de concentración,  $T_c$ , en horas, según la ecuación:

$$T_c = 0.06628 \left( \frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.77}$$

Dónde:

L: Longitud del cauce principal de la cuenca, en metros

S: Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca, en metros, dividida por L (es decir, la pendiente promedio del recorrido principal en m/m).

✓ Ecuación de Témez

Calcula el tiempo de concentración,  $T_c$ , en horas, según la ecuación:

$$T_c = 0.30 \left( \frac{L}{S_0^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Dónde:

$T_c$ : Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

✓ Ecuación de SCS – Ranser

Calcula el tiempo de concentración,  $T_c$ , en horas, según la ecuación:

$$T_c = 0,97 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Dónde:

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal, en metros (m).

✓ Ecuación de Ventura - Heras

Proporciona el tiempo de concentración de la cuenca, T<sub>c</sub>, en horas, mediante la siguiente fórmula:

$$T_c = 0.30 \cdot \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75}$$

Dónde:

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

✓ Fórmula de California Culvert Practice

Proporciona el tiempo de concentración de la cuenca, T<sub>c</sub>, en horas, mediante la siguiente fórmula:

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

Dónde:

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal, en metros (m).

✓ Fórmula de U.S. Corps of Engineers

Proporciona el tiempo de concentración de la cuenca, T<sub>c</sub>, en horas, mediante la siguiente fórmula:

$$T_c = 7.56 \cdot L^{0.76} \cdot S^{-0.19}$$

Dónde:

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración, en minutos (min).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente longitudinal del cauce, en m/m

✓ Fórmula de Chow

Proporciona el tiempo de concentración de la cuenca,  $T_c$ , en horas, mediante la siguiente fórmula:

$$T_c = 7.38 \cdot L^{0.64} \cdot S^{-0.32}$$

Dónde:

$T_c$ : Tiempo de concentración, en minutos (min).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente longitudinal del cauce, en m/m

En la **Tabla 25**, se muestra el cálculo de los tiempos de concentración para el cauce principal de la quebrada La Esperanza. Para la selección del tiempo de concentración se calculó el promedio (0.35 hr) y la desviación estándar (0.06 hr), teniendo en cuenta estos dos estadísticos se eligió la Ecuación de Témez para un tiempo de 23.41 minutos, por ser la ecuación más cercana al promedio.

**Tabla 25.** Cálculo del tiempo de concentración para la cuenca de la quebrada La Esperanza

TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN	$T_c$ (horas)	$T_c$ (min)
Ecuación de Kirpich	0.29	17.43
Ecuación de Témez	0.39	23.41
Ecuación de SCS – Ranser	0.30	17.85
Ecuación de Ventura - Heras	0.39	23.32
Ecuación de U.S. Corps of Engineers	0.39	23.58
Ecuación de Chow	0.42	25.20
Ecuación de California Culvert Practice	0.29	17.44
Promedio	0.35	21.17
Desviación estándar	0.06	3.43

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 5.1.7 Índices morfométricos de la cuenca

Con los insumos entregados y el Modelo Digital de Terreno, la red de drenaje y la delimitación de la cuenca, se estimaron los parámetros morfométricos y los tiempos de concentración para la cuenca, con la ayuda de la aplicación de un Sistema de Información Geográfica – SIG, que permite a partir de los atributos geográficos calcular las coterías geométricas de las capas mencionadas anteriormente. En la **Tabla 26** y **Tabla 27**, se presentan los resultados de dichos parámetros.

**Tabla 26.** Parámetros morfométricos

Nombre	ÁREA	PERÍMETRO	LONGITUD RECTA DE LA CUENCA	ANCHO DE LA CUENCA	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	
-	km <sup>2</sup>	km	km	km	%	-	m.s.n.m.	km	%	horas
Cuenca Q. La Esperanza	2.19	7.93	2.62	0.83	34.06	Fuertemente Accidentando	2,159.5	2.93	18.49	0.39

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

**Tabla 27.** Parámetros de forma

Nombre	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	COEFICIENTE DE FORMA	INDICE DE ALARGAMIENTO	INDICE ASIMETRICO
-	-	Clasificación	-	Clasificación
Cuenca Q. La Esperanza	1.51	Forma oval oblonga a rectangular oblonga	0.32	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 5.1.8 Conclusiones

Con un área de 2.19 km<sup>2</sup>, un perímetro de 7.93 km y una longitud del cauce principal de 2.93, la cuenca hidrográfica de la quebrada La Esperanza se caracteriza por:

- ✓ Un índice de compacidad de 1.51, indicador de una cuenca Forma oval oblonga a rectangular oblonga, de baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales.
- ✓ Un factor de forma de 0.32, indicador de forma que tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.

- ✓ Un índice de asimetría de 0.35, que indica que el cauce está recostado sobre la vertiente derecha (Norte).
- ✓ Una pendiente media de la cuenca de 34.06%, representativa de un relieve Fuertemente Accidentado, alta influencia sobre las crecidas instantáneas.
- ✓ Una elevación media de 2,159.5 msnm, que indica que la cuenca en promedio tiene un clima frío.
- ✓ La curva hipsométrica indica que se trata de un río maduro, de acuerdo a la clasificación a la evolución de la quebrada (Ver **Figura 33**).
- ✓ Nace a una cota de 2375.0 msnm y desemboca en el río Guavio a 1686.0 msnm.
- ✓ Tiene una pendiente media de su cauce de 18,49%, que se considera alta.

## 5.2 Revisión y análisis de eventos históricos de crecientes e inundaciones en la quebrada La Esperanza

Dentro de este análisis se trabajó con las siguientes DBMS, las cuales serán descritas a continuación y consultadas posteriormente:

- **DesInventar**, (<http://www.desinventar.org/es/desinventar.html>), es una herramienta conceptual y metodológica para la construcción de bases de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por emergencias o desastres. Incluye una metodología de definiciones y ayudas para el manejo de datos, con una estructura flexible y programa de alimentación, que permite la consulta bajo criterios de selección presentes en diversos consolidados. Se implementó en 1994 como un marco metodológico y conceptual para estimular y fortalecer el estudio social de la problemática del riesgo y definir nuevas formas de intervención y de gestión en el campo de la prevención y mitigación del riesgo, sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, mediante los reportes de nueve instituciones en nueve países agrupados en la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED).
- **La Unidad Nacional del Gestión del Riesgo y del Desastre (UNGRD)**, fue creada a partir de la Ley 1523 de 2012, es el conjunto de entidades nacionales del orden público, privado y comunitario, que articuladas con las políticas, normas y recursos, tiene como objetivo llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en todo el territorio nacional en busca de mejorar la calidad de

vida, la seguridad y el bienestar de todas las comunidades colombianas. entendidos como: Conocimiento del Riesgo, Reducción del Riesgo y Manejo de Desastres, esta almacena mediante reportes el número de eventos, ubicación afectados y enseres requeridos por la población en caso de una emergencia.

Adicionalmente la comunidad asistente al taller reporta 3 eventos relacionados con crecientes en la quebrada objeto de estudio. Entre los datos suministrados, se encuentra que se han registrado 3 eventos relacionados con la quebrada, una inundación registrada en el año 2003, y dos fenómenos de avenida torrencial 2005 y 2009.

De acuerdo a la metodología explicada anteriormente en el municipio de Gachetá, en especial para la quebrada La Esperanza, se realizó la consulta en el Sistema de Gestión de Bases de Datos disponible y luego de la búsqueda exhaustiva, no se encontraron reportes de eventos históricos de crecientes e inundaciones por desbordamiento para dicha quebrada. Con respecto a la información suministrada por la comunidad en los talleres, se puede decir, que esos eventos pudieron ocurrir en el municipio, pero no han indicios físicos que se hayan presentado en la zona de estudio, adicionalmente no hay reportes en las bases de datos de esos años con registros de algún fenómeno ocurrido por inundación.

### 5.3 Identificación de estaciones hidrológicas localizadas en el área de estudio

De acuerdo con la estructura de las bases de datos existentes, se recolectó y utilizó información de las siguientes estaciones hidrometeorológicas.

#### 5.3.1 Información hidrometeorológica

En la **Tabla 28**, se presenta la relación de las estaciones hidrológicas, pluviométricas y climatológicas identificadas dentro y/o cerca de la zona de estudio y cuya información fue recopilada. En la tabla antes mencionada se describe el código de la estación, la categoría, las coordenadas geográficas, la elevación, la corriente o cuenca y el municipio donde se encuentran.

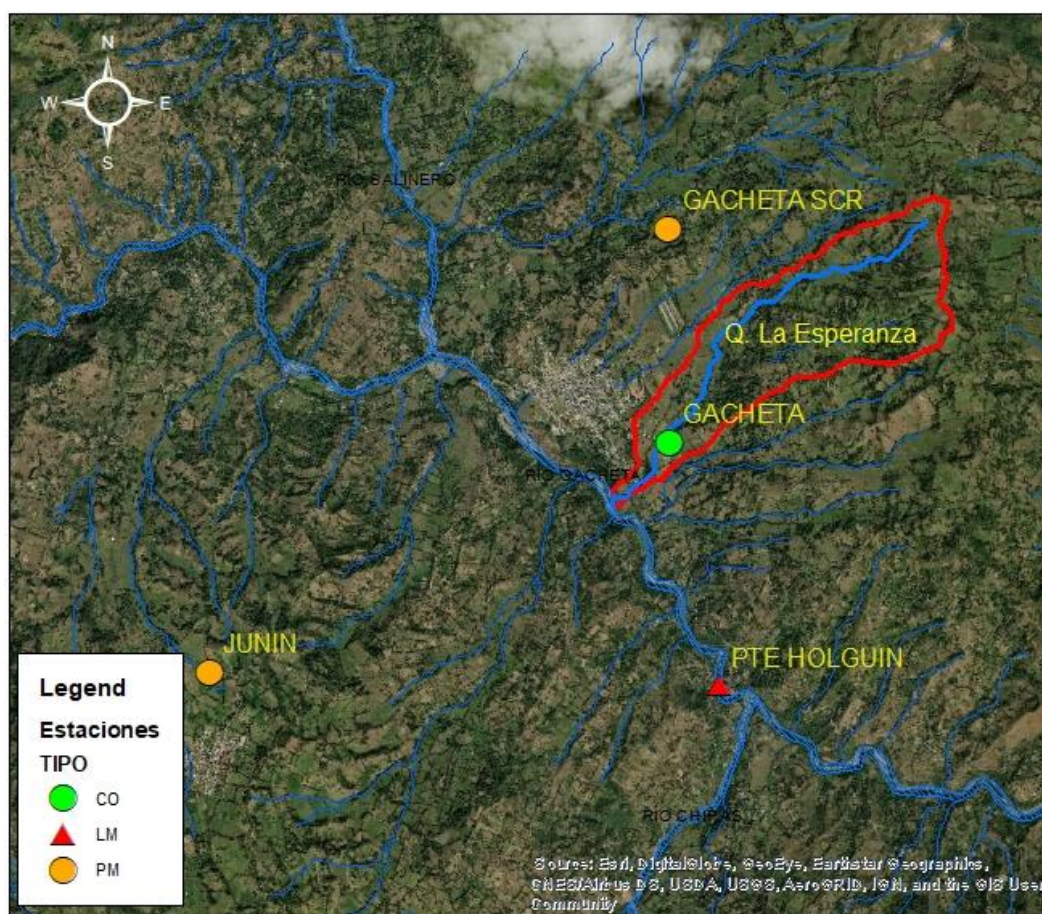
Estas estaciones hacen parte de la red hidrometeorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. En la **Figura 35**, se presenta la localización de cada una de ellas y los datos originales se presentan en el Anexo 5.1.

**Tabla 28.** Estaciones hidrometeorológicas

Estación	Código	Tipo	Coordenadas		Elev.	Corriente	Municipio	Serie
			Norte	Este				
JUNIN	3506005	PM	1045918.7	1022235.8	2323	GACHETÁ	JUNIN	1962-2017

Estación	Código	Tipo	Coordenadas		Elev.	Corriente	Municipio	Serie
			Norte	Este				
GACHETÁ SCR	3506028	PM	1049688.2	1025887.6	1800	GACHETÁ	GACHETÁ	1953-1984
GACHETÁ	3506501	CO	1049689.4	1024118.2	1752	GACHETÁ	GACHETÁ	1962-2016
PTE HOLGUIN	3506705	LM	1049690.6	1022238.2	1645	GUAVIO	GACHETÁ	1995-2009

Fuente: IDEAM, 2019.



**Figura 35.** Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas

Fuente: Google Earth, 2019.

## 5.4 Caracterización climatológica de la quebrada La Esperanza en el área de estudio

El clima es importante, desde el punto de vista físico por su directa intervención en la evolución de los suelos y el paisaje. Además, por ser uno de los elementos o insumos necesarios para la determinación de las amenazas naturales y desde el punto de vista socioeconómico por su influencia en la decisión de utilización de las tierras para determinados usos.

El clima regional de Colombia está definido por las propiedades relevantes de los valores medios de los campos, que están forzados por las condiciones de frontera de la atmósfera, de la distribución de continente–océano y las variaciones de la radiación solar sobre la superficie, en el espacio y tiempo. Estos fenómenos atmosféricos son fuertemente influenciados por la distribución de la topografía y la vegetación en la superficie del territorio colombiano (Guzmán D. 2014).

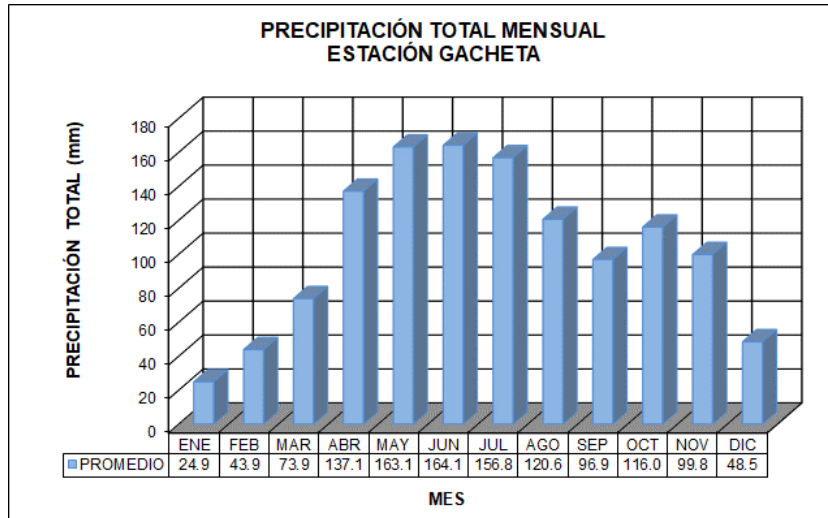
Entre los elementos del clima se tiene precipitación, temperatura, humedad, brillo solar y evaporación; los dos primeros son los más importantes por cuanto permiten definir clasificar y zonificar el clima de una región dada, en tanto que los otros se presentan como atributos caracterizadores de las unidades ya definidas. Los factores del clima, pendiente, altitud, formas del relieve, generan cambios climáticos a nivel regional o local, mientras que la cobertura vegetal es causa y efecto del clima tanto como su indicador.

Los meses que presentan mayores cantidades de precipitaciones, tras el análisis hecho en base a los promedios mensuales de la estación Gachetá, son durante los meses de mayo a julio con valores de 163.1, 164.1 y 156.8 mm respectivamente, sobre la cuenca de la quebrada La Esperanza; sin embargo, los meses que muestran tendencia a la disminución de las lluvias corresponde a enero con valores inferiores a los 24.9 m, esto hace pensar que los aumentos y disminuciones de lluvias podrían ser parte de procesos naturales como el paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

#### **5.4.1 Precipitación**

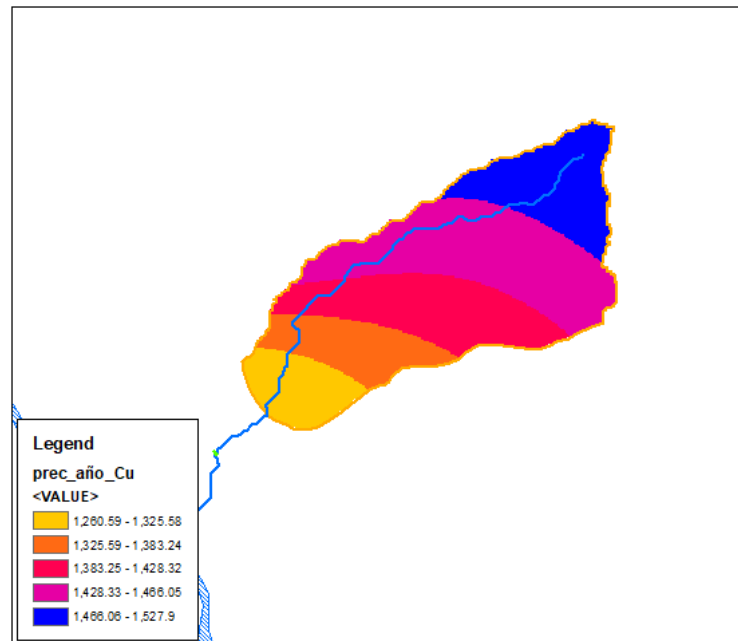
El análisis de precipitación consiste en la interpretación de la variación mensual y multianual de la lluvia con el fin de determinar las temporadas secas y lluviosas en la cuenca de la quebrada La Esperanza, para este fin se selecciona la estación Gachetá como representativa por estar dentro en la cuenca.

La precipitación media mensual en la estación Gachetá, el cual posee un periodo de registro desde 1962 a 2016, varía entre 24.90 mm y 164.10 mm. El comportamiento a través del año es de tipo monomodal, siendo los meses más lluviosos abril a agosto, con un ligero repunte en octubre y noviembre. En la **Figura 37**, presenta la variación de la precipitación para los diferentes meses del año. La precipitación total multianual es de 1245.60 mm.



**Figura 36.** Precipitación total mensual estación Gacheta  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

En la **Figura 38**, se muestra el mapa de precipitación media anual espacializada y en isoyetas respectivamente para la cuenca de la quebrada La Esperanza. Como se puede apreciar la precipitación media anual en la cuenca es de 1417.67 mm.



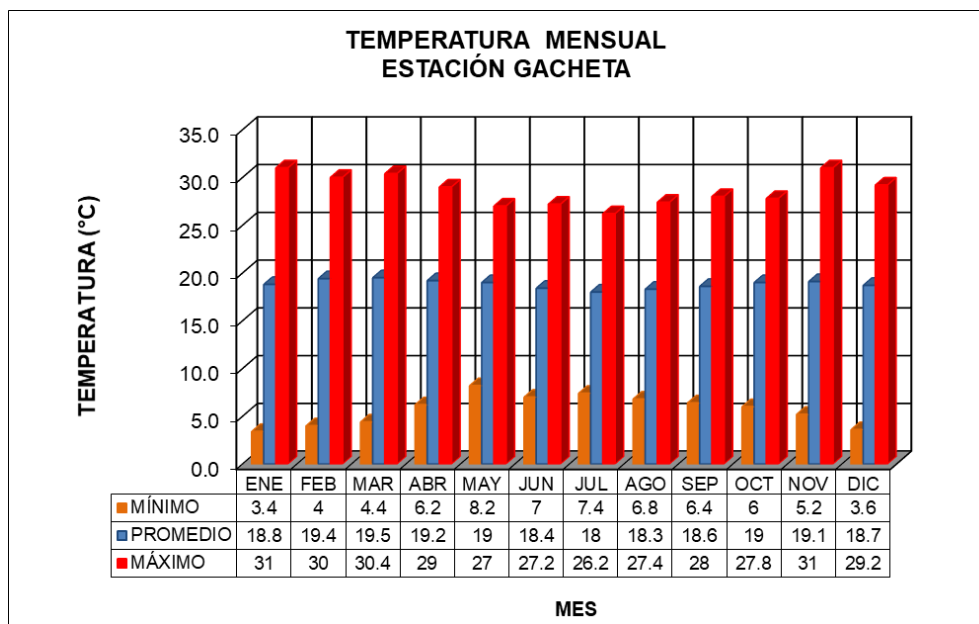
**Figura 37.** Precipitación media anual en la cuenca  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 5.4.2 Temperatura

Realizando un análisis temporal, el comportamiento de la temperatura, se obtuvo mediante la información de las series de la Estación Climatológica Gachetá, cuyos registros superan los 20 años.

La temperatura media multianual observada en la estación Gachetá es de 18.80°C. La temperatura diaria máxima media multianual registrada es 31.00°C. La temperatura diaria mínima media multianual registrada es de 3.40°C. En la **Figura 38** se presenta la variación de temperatura para las máximas, medias y mínimas en los diferentes meses del año.

Los valores registrados son consistentes con la temporada seca y lluviosa de la zona; el mes más seco, registra la incidencia más alta en el año de la temperatura, mientras que los registros disminuyen conforme su aproximación de la temporada lluviosa.



**Figura 38.** Temperatura mínima, media y máxima multianual estación Gachetá

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

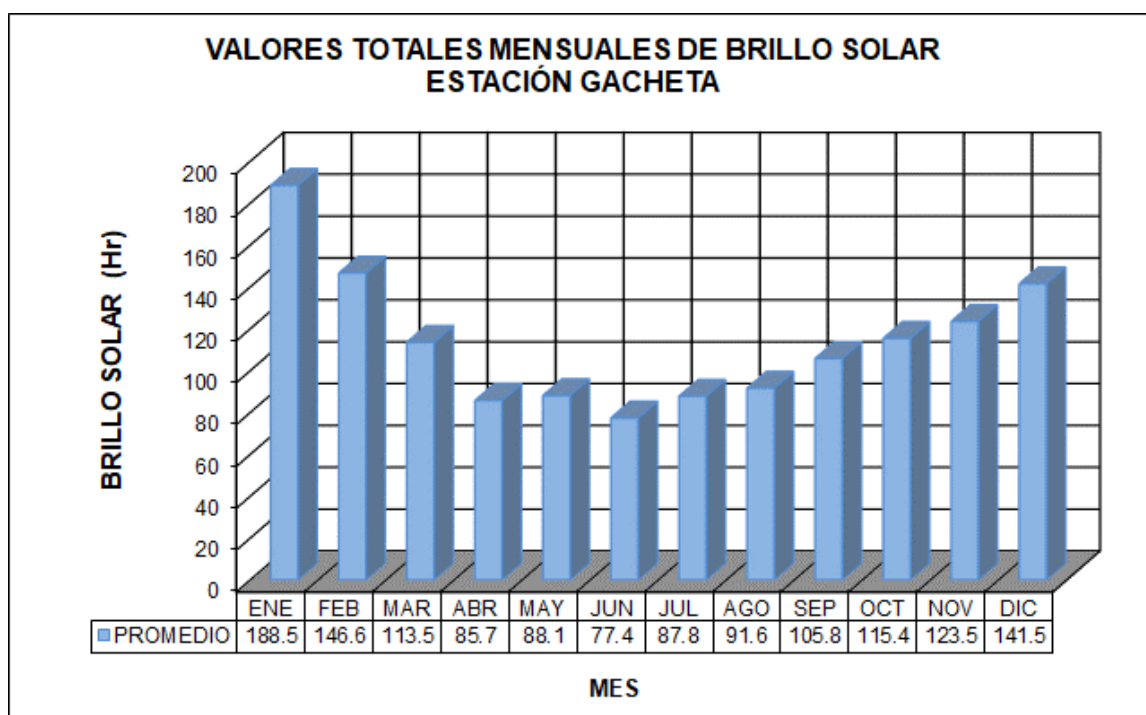
### 5.4.3 Brillo solar

El brillo solar corresponde al número de horas al día de sol, llamado también fotoperíodo. El valor de este factor radica en su importancia para el desarrollo de actividades como el crecimiento de las plantas.

La distribución de los valores de insolación o brillo solar están relacionados en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación en una región.

El comportamiento temporal del brillo solar se obtuvo mediante la información de las series de la estación mencionada anteriormente, con registros entre los años 1972 y 2016. En la **Figura 39**, se presentan los valores mensuales de brillo solar registrados.

Los valores del brillo solar varían entre 77.40 y 188.50 horas mensuales. La mayor incidencia de los rayos solares se presenta en los meses de enero y febrero, con 188.50 horas/mes y 146.6 horas/mes, mientras que los valores mínimos se registran en el mes de abril y junio, con 85.7 y 77.40 horas/mes. Los valores registrados son consistentes con la temporada seca y lluviosa de la zona; el mes más seco es enero, cuando se registra la incidencia más alta en el año, mientras que los registros del fotoperíodo disminuyen conforme se aproxima la temporada lluviosa. El Valor anual del brillo solar es de 1365.4 horas.



**Figura 39.** Brillo solar total mensual estación Gachetá

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

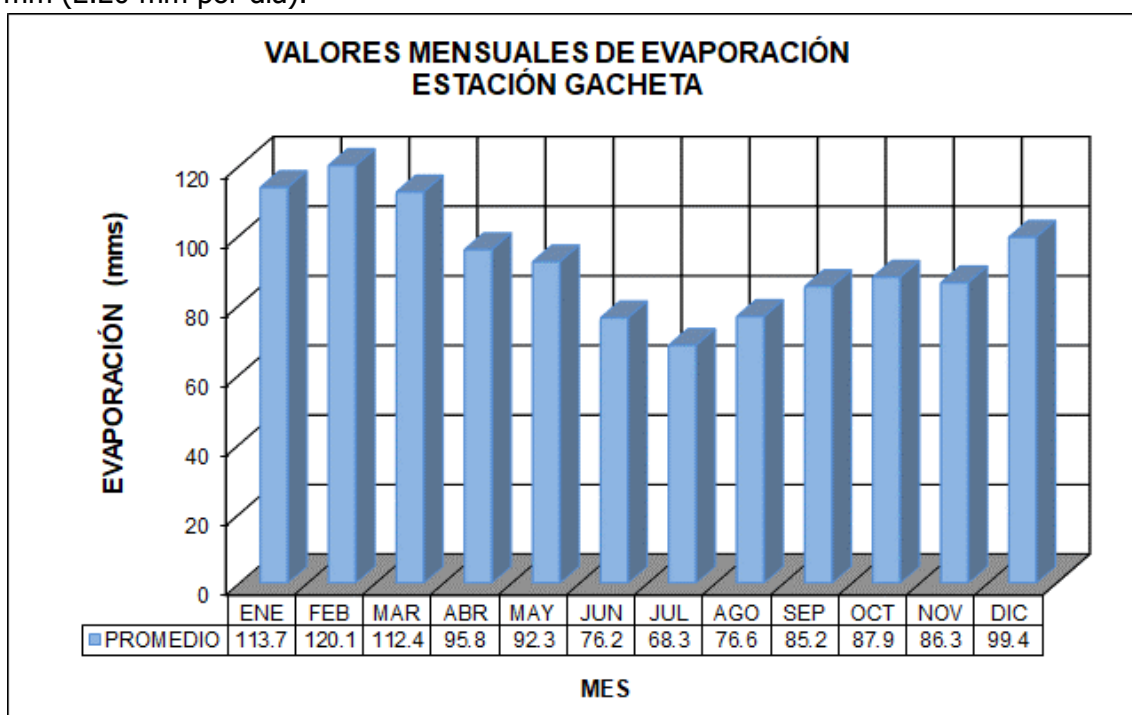
#### 5.4.4 Evaporación

La evaporación es el proceso físico por el cual el agua de una superficie húmeda es introducida en el aire en forma de vapor a una temperatura por debajo del punto de ebullición. La evaporación

depende de factores como la latitud y la elevación del lugar, así como la temperatura, insolación y radiación solar, el grado de húmeda atmosférica y la intensidad del viento.

Para el análisis temporal, el índice de evaporación se define como la cantidad de agua perdida por una unidad de superficie en una unidad de tiempo, medido en milímetros de agua evaporada. En la **Figura 40**, contiene el histograma de los valores medios multianuales de la evaporación.

En la estación Gachetá este parámetro, medido en el evaporímetro, presenta un valor anual multianual igual a 1114.3 mm (3.05 mm/día). El mes de mayor evaporación corresponde a febrero, con 120.1 mm (4.28 mm por día), mientras el de menor evaporación ocurre en el mes de julio, con 68.3 mm (2.20 mm por día).



**Figura 40.** Evaporación total mensual estación Gachetá  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

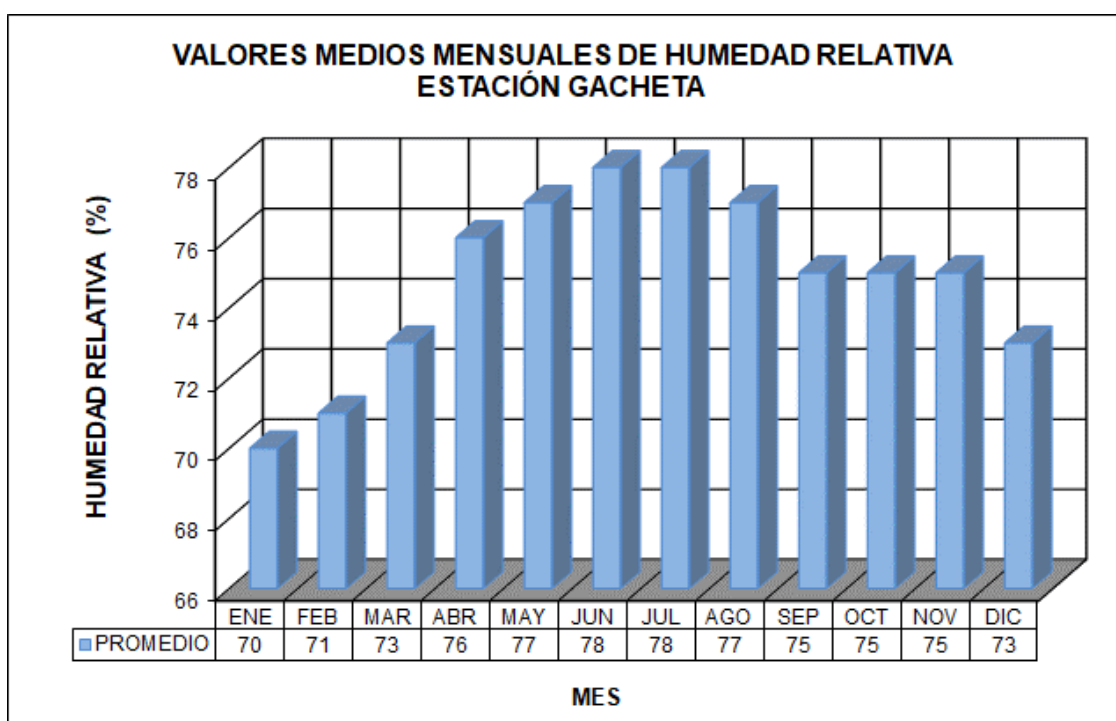
#### 5.4.5 Humedad relativa

El vapor de agua es uno de los componentes de la atmosfera de la Tierra. La humedad es un elemento meteorológico que tiene una relación estrecha con el componente en la estabilidad atmosférica y, por lo consiguiente, con la ocurrencia y distribución de la precipitación en una porción terrestre.

Para el análisis temporal de humedad relativa, se tomaron las series de datos de la estación Gachetá, con registros entre los años 1972 y 2016.

En términos multianuales, la humedad relativa media del aire en la estación Gachetá, ubicada a 1752 m.s.n.m., es igual a 75%.

Los mayores valores de este parámetro ocurren en los períodos de lluvias y los menores en los períodos de verano. Los meses de mayor humedad relativa multianual corresponden al período entre junio y julio, con el 78%, mientras que los de menor humedad relativa ocurren en los meses de enero a febrero, con 70% y 71% respectivamente. El histograma de la **Figura 41**, representa los valores medios mensuales multianuales de la humedad relativa en la zona de estudio.



**Figura 41.** Humedad relativa mensual estación Gachetá

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

## 5.5 Caracterización hidrológica de la quebrada La Esperanza en el área de estudio

La distribución espacial de la lluvia tiene gran incidencia en el comportamiento de caudales de una cuenca hidrográfica, teniendo en cuenta la variación de características físicas de la cuenca como el relieve, tipo de suelo, tipo y densidad de cobertura vegetal, uso del suelo, además de la intervención humana (actividades), destacando la urbanización, que conlleva a la impermeabilización del suelo

en gran porcentaje del área, por lo que el comportamiento hidrológico de las corrientes que componen el sistema hídrico, está claramente determinado, tanto espacial como temporalmente, por la ocurrencia de la precipitación a lo largo de su territorio.

La aplicación de un modelo lluvia-caudal para definir las crecientes se inicia con un estudio detallado de los aguaceros que producen los caudales máximos y se complementa con una caracterización completa de las cuencas aferentes para luego culminar con la construcción de los hidrogramas correspondientes.

Para determinar el caudal generado por la lluvia se aplica el modelo lluvia-caudal del Soil Conservation Service de los E.U.A., dado que el método racional sobrevalora el caudal cuando se usa en cuencas rurales con un área superior a 100 ha y adicionalmente se aplica teniendo en cuenta por la información disponible y las características físicas de la cuenca. Para el efecto, se definen las áreas aferentes, se selecciona el período de retorno del aguacero de diseño, se calcula el valor de la tormenta con el período de retorno requerido, se evalúan los tiempos de concentración, se selecciona el Número de Curva CN, el cual es un concepto similar al coeficiente de escorrentía y, finalmente, se calculan los caudales con diferentes períodos de retorno.

### **5.5.1 Análisis de frecuencia de lluvias máximas en 24 horas y determinación del aguacero**

El modelo lluvia-caudal del Soil Conservation Service requiere, como insumo, el valor de la precipitación máxima diaria con un período de retorno predeterminado. Para el efecto, se seleccionó la estación Gachetá de precipitación, como representativa de la cuenca desde su nacimiento hasta el sector de estudio, por ser la más cercana a la zona del proyecto. Los datos y los cálculos correspondientes se muestran en el Anexo 5.1.

Para la cuenca se produjo una serie de precipitaciones máximas en 24 horas. La obtención de las lluvias con diferentes períodos de retorno se logró mediante un análisis de frecuencia utilizando las distribuciones Normal, Log Normal, Pearson tipo III, Log Pearson tipo III y Gumbel, con el propósito de seleccionar la que mejor represente el comportamiento de los datos disponibles.

El cálculo de las lluvias máximas con diferentes períodos de retorno, se efectuó mediante una hoja electrónica en Excel (Anexo 5.1).

- **Estación Gachetá**

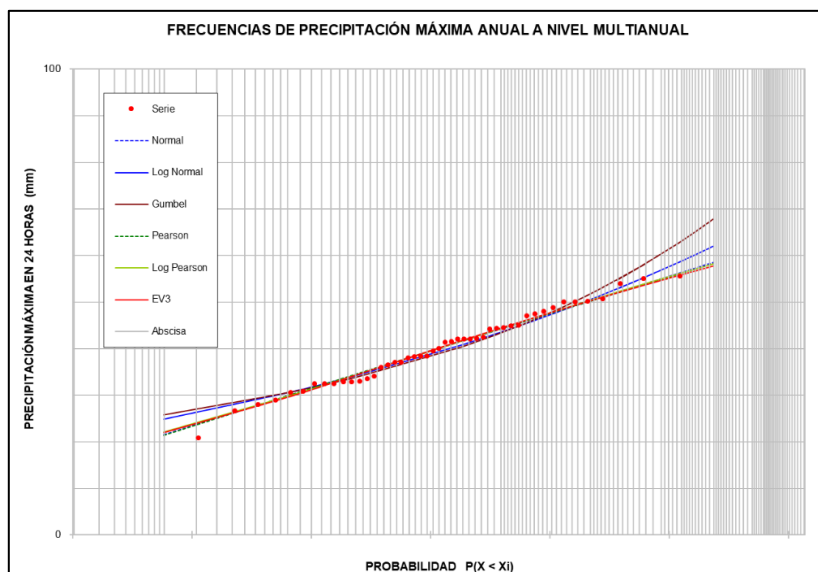
Para cada distribución probabilística de la estación, se aplicó la prueba de ajuste estadístico Chi-Cuadrado, encontrándose que, para los datos, la distribución probabilística de Valores Extremos es el menor valor de esta prueba, lo que representa que la muestra era la que mejor los ajusta.

En la **Tabla 29**, se presentan los resultados de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas.

**Tabla 29.** Valores mensuales de precipitaciones máximas con Diferentes Períodos de Retorno. Estación Gachetá (mm)

Tr	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
años	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2.33	41.5	40.3	41.5	41.5	40.7	41.6
5	46.7	46.6	46.7	46.9	46.3	46.9
10	50.2	51.7	50.2	50.4	50.5	50.3
15	52.0	54.7	51.9	52.1	52.7	51.9
25	53.9	58.3	53.8	54.0	55.4	53.7
50	56.4	63.1	56.2	56.2	58.8	55.9
100	58.5	67.9	58.3	58.2	62.0	57.7
<b>chi 2</b>	<b>1.084</b>	<b>3.778</b>	<b>1.069</b>	<b>1.051</b>	<b>2.313</b>	<b>1.050</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 42.** Ajuste de distribuciones de probabilidad precipitación máximos mensuales

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

A continuación, se presenta la distribución seleccionada con los diferentes periodos de retorno para las precipitaciones máximas mensuales para la Estación Gachetá:

**Tabla 30.** Precipitaciones máximas mensuales con Diferentes Períodos de Retorno con la distribución seleccionada. Estación Gachetá

Tr (Años)	Precipitación Máxima, P <sub>T</sub> (mm)
2.33	41.6
5	46.9
10	50.3
15	51.9
25	53.7
50	55.9
100	57.7

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 5.5.2 Determinación de las crecientes para diferentes periodos de retorno

Cabe mencionar que las crecientes son eventos hidrológicos extraordinarios que se presentan en las corrientes naturales durante las cuales las magnitudes de los caudales superan ampliamente los valores promedio registrados o estimados en dichas corrientes. Por lo tanto, la generación de los hidrogramas de salida se realizó a partir de la consideración del hidrograma unitario, afectado por la escorrentía directa o precipitación efectiva en la cuenca. Una vez asignadas las características de la lluvia total espacial, el número de curva CN, el área de drenaje, y el tiempo de retardo para la hoya hidrográfica al modelo Hidrológico Hec-Hms, se calcularon los caudales máximos instantáneos anuales de las crecientes producidas para los distintos periodos de retorno, insumo con el cual se realizará la modelación hidráulica para el acotamiento de ronda.

Las crecientes se calcularon por medio del programa HEC- HMS 4.2.1 (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) de los Estados Unidos de América, el cual posee un gran número de aplicaciones, además de la mencionada.

Para construir de manera sintética los hidrogramas de las crecientes en la cuenca se aplica un modelo lluvia-caudal con el método del Soil Conservation Service de los Estados Unidos de Norteamérica. Este modelo determina la escorrentía producida por un aguacero considerando la condición de humedad antecedente y el complejo suelo-cobertura.

Todos los procedimientos orientados a calcular el hidrograma de una creciente mediante modelos lluvia-caudal requieren convertir la lluvia original en lluvia efectiva, que es la que realmente produce la creciente, descontando las pérdidas, es decir, las abstracciones por diferentes conceptos. Por lo anterior, se presenta aquí el procedimiento usual para evaluar la lluvia efectiva, antes de explicar la metodología para calcular la creciente propiamente dicha.

En detalle, el procedimiento utilizado para construir el hidrograma de la creciente de diseño es el siguiente.

1. Se calcula el área de la cuenca considerada

**Tabla 31.** Área de la cuenca

Cuenca	Área
	km <sup>2</sup>
Q. La Esperanza	2.19

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

2. Para la selección de las estaciones en la cuenca de la quebrada La Esperanza, se partió de la información disponible en la zona, que para este caso fue la estación Gachetá con código 3506501, por ser la más cercana a la cuenca de estudio.
3. Se utiliza como insumo el valor de las lluvias máximas en 24 horas con diferentes períodos de retorno tal como se muestra en la **Tabla 30**.
4. La duración de la lluvia de diseño, como se trata de una cuenca relativamente pequeña y de acuerdo a lo expuesto anteriormente, la duración de la lluvia es igual  $D = 2 \cdot \sqrt{0.39} = 1.25$  horas, por lo tanto, se adopta una lluvia con una duración de 2,0 horas.
5. A partir del área de la cuenca, se aplica un factor de reducción de 0,99 a cada uno de los periodos de retorno de la precipitación máxima en 24 horas de la estación Gachetá, para representar la distribución espacial de la lluvia en la zona estudiada. Para seleccionar este valor se parte del concepto que una lluvia puntual abarca hasta unos 25 km<sup>2</sup> de radio de influencia.
6. Debido a que la distribución temporal de los aguaceros en cualquier estación es aleatoria, se adopta la siguiente curva que son los términos medios de acuerdo a las curvas de probabilidad del 50% entre los Cuartiles I y IV los más comúnmente empleados (Back, 2011), las cuales son usualmente utilizadas para obtener una distribución temporal de la precipitación. En la **Tabla 32**, se presenta la curva de distribución adoptada en los presentes análisis.

**Tabla 32.** Distribución temporal de la lluvia adoptada.

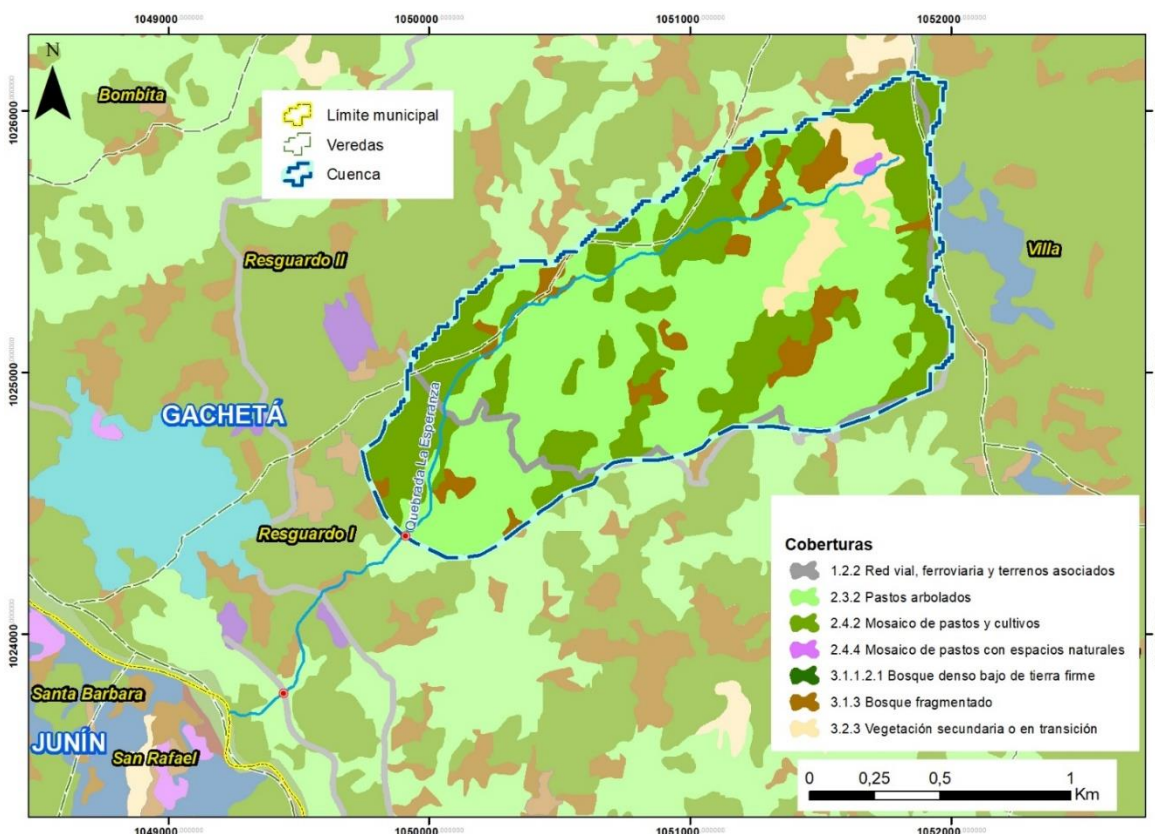
Fracción tiempo	Fracción precipitación
0,0	0,000
0,1	0,040
0,2	0,130
0,3	0,280
0,4	0,490
0,5	0,700
0,6	0,840
0,7	0,920
0,8	0,970
0,9	0,995
1,0	1,000

**Fuente:** Ven T. Chow, Hidrología Aplicada.

7. Se selecciona el intervalo "D" con un delta del tiempo de 10 min, por lo tanto, la lluvia anteriormente seleccionada se divide en 12 intervalos de tiempo de duración "D" cada uno.

8. Se definen los valores secuenciales del aguacero de diseño. Inicialmente se seleccionan los incrementos de tiempo "D", en horas; se registran los porcentajes de cada incremento respecto a la duración de la lluvia total, se escriben los incrementos de la lluvia frente a cada incremento de tiempo, en mm y se calculan los valores acumulados de la lluvia, en mm.

9. Se caracteriza la cobertura vegetal de la cuenca hasta el sitio de estudio para evaluar el parámetro CN. El trabajo se adelantó por medio de la visita de campo y de la información disponible por el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Guavio (2019).



**Figura 43.** Cobertural vegetal de la cuenca de la quebrada La Esperanza  
**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Guavio, 2019

**Tabla 33.** Determinación del cubrimiento vegetal en la cuenca de la quebrada La Esperanza

COBERTURA VEGETAL	ÁREA (ha)	%
1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	6.6	3.03
2.3.2 Pastos arbolados	112.3	51.35
2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos	72.5	33.18
2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	0.5	0.24
3.1.1.2.1 Bosque denso bajo de tierra firme	0.0	0.01
3.1.3 Bosque fragmentado	16.1	7.36
3.2.3 Vegetación secundaria o en transición	10.6	4.83
<b>Total general</b>	<b>218.6</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Guavio, 2019

La selección del valor CN en cada caso, se realiza considerando los siguientes cuatro parámetros:

- Tipo de suelo hidrológico.

- Uso y tratamiento del suelo.
- Combinaciones hidrológicas de suelo y vegetación.
- Condiciones de humedad antecedente a la lluvia de diseño.

## Tipo de suelo hidrológico

Desde el punto de vista de su capacidad de infiltración y para definir el valor CN junto con los otros tres parámetros mencionados, el Soil Conservacion Service ha clasificado los suelos en cuatro grupos: A, B, C y D, ordenados según su potencial de escurrimiento (tasa de infiltración para suelos "desnudos" luego de un humedecimiento prolongado, profundidad del nivel freático de invierno, infiltración y permeabilidad del suelo luego del humedecimiento prolongado y profundidad hasta un estrato de permeabilidad muy lento):

El tipo de material en cada caso particular se obtiene a partir de la información de un estudio de suelos, considerando una clasificación que va desde los tipos "A" de bajo potencial de escorrentía y con altas infiltraciones (suelos arenosos) hasta los de alto potencial de escorrentía o suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos (arcillosos) tipos "D". A continuación, se presenta la clasificación establecida por el S.C.S.

**"A"**. (Potencial de escorrentía mínimo). Suelos que tienen alta tasa de infiltración aun cuando estén muy húmedos. Consistentes en arenas o gravas profundas bien drenadas o excesivamente drenadas con poco limo y arcilla, lo mismo que loess muy permeables. Esos suelos tienen una alta rata de transmisión de agua.

**"B"**. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasas de infiltración moderadas cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas. La mayor parte de los suelos arenosos son menos profundos o menos compactos que los del grupo A. El grupo, en conjunto, posee una infiltración media superior después de haberse mojado completamente.

**"C"**. (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos con estratos que impiden el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente fina a fina; suelos con infiltración lenta debido a sales o suelos con lentes de agua moderada. Esos suelos pueden ser pobremente drenados, o bien, moderadamente drenados con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta. Comprende los suelos poco profundos y los que

contienen mucha arcilla y coloides, aunque menos que los del grupo D. El grupo tiene una infiltración inferior a la promedia después de saturación.

**"D"**. (Potencial de escorrentía máximo). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Son suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con "claypan" o estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o alkali y suelos poco profundos ubicados sobre materiales casi impermeables. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta. Incluyen a la mayor parte de arcillas expansivas y algunos suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

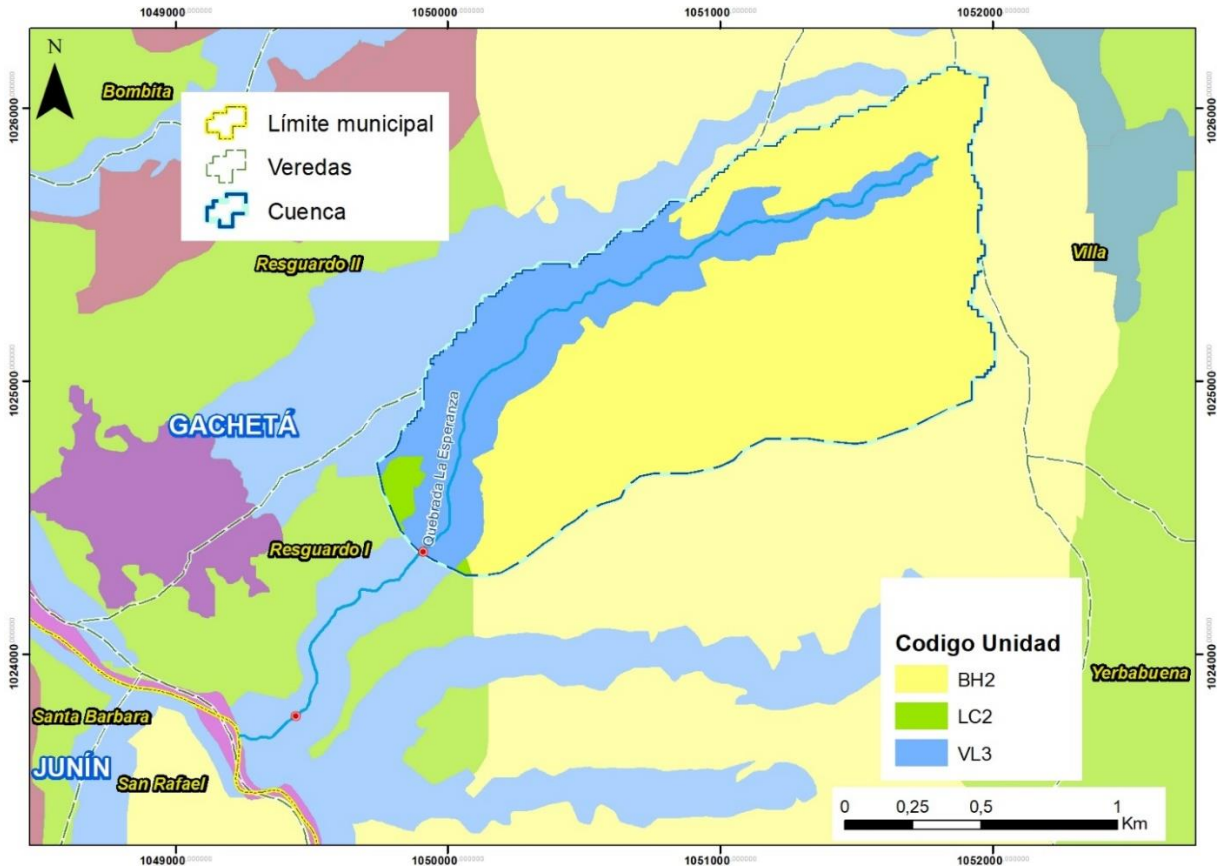
La clasificación de los suelos en grupos hidrológicos principales se puede realizar tomando como base el tipo hidrológico a partir del estudio de suelos realizado por el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Guavio (2019). Usualmente en una misma cuenca se reportan diferentes tipos de suelos. En ese caso se pueden considerar por separado, indicando el área ocupada por cada uno de ellos y determinando el valor CN individualmente para luego ponderarlos y obtener un CN representativo.

En la **Figura 44**, se muestra el plano de suelos elaborado por el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Guavio (2019), la cual incluye la cuenca de la quebrada La Esperanza. En esas zonas los suelos predominantes son los siguientes:

**BH2:** Suelos de relieve quebrado a fuertemente quebrado, con pendientes del 15 al 45%, muy profundos, bien drenados, texturas finas y fertilidad natural moderada. Se categoriza como suelo Tipo B.

**LC2:** Suelos de relieve ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes del 10 al 40%, muy profundos, bien drenados, texturas finas y medias, fertilidad natural muy baja. Se categoriza como suelo Tipo B.

**VL3:** Suelos de relieve ligeramente ondulado a quebrado a escarpado, con pendientes del 7 al 50%, muy superficiales, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas mistas y fertilidad natural muy baja. Se categoriza como suelo Tipo B.



**Figura 44.** Suelos de la cuenca de la quebrada La Esperanza  
**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Guavio, 2019

### Uso y tratamiento del suelo

El segundo parámetro a considerar para definir el valor CN, posee dos componentes: el uso y el tratamiento. Estos dos parámetros se clasifican en relación con las crecientes que puede producir el escurrimiento. Mientras mayor sea la retención total ocasionada por un determinado uso y tratamiento, menor será el caudal pico del hidrograma. El uso del suelo se refiere al tipo de vegetación existente, presencia de cultivos y usos no agrícolas tales como cuerpos de agua representados por lagunas, ciénagas y otros. El tratamiento del suelo se aplica fundamentalmente a los usos agrícolas incluyendo todo tipo de laboreo con rastrillos, nivelaciones, terracedos, control de pastoreo y rotación de cultivos. Para definir el valor CN, junto con los demás parámetros, se diferencia entre suelos cultivados, pastos y bosques. En los primeros se identifican tierras en descanso, pastos, cultivos en hilera, granos, cultivos de alta densidad por la escasa distancia entre ellos, rotaciones, cultivos a lo largo de las curvas de nivel y cultivos en terrazas.

## Combinaciones hidrológicas de suelo y vegetación

De acuerdo a la literatura, se puede encontrar las diferentes combinaciones de los grupos de suelos, el uso del suelo y las clases de tratamiento formando complejos hidrológicos del suelo y la vegetación. En esas tablas se puede seleccionar el número de curva CN en función de los parámetros anteriores y considerando una determinada humedad antecedente, como se mostrará adelante, Los números muestran el valor relativo de los complejos como productores directos de escurrimiento. Cuanto más elevado sea el número, mayor es el volumen de escurrimiento directo que puede esperarse de un aguacero. Esta tabla se preparó usando datos de cuencas aforadas con suelo y vegetación conocidos.

Para seleccionar el valor CN más apropiado en cada caso, se dividió la cuenca de la quebrada en una cuenca homogénea por concepto de suelos, de vegetación, de usos y de tratamientos y este valor se determinó individualmente para cada una de ellas. El valor final de CN es el resultado de ponderar los anteriores, considerando el porcentaje de área ocupada por cada zona homogénea.

## Condiciones de humedad antecedente de la lluvia

Para seleccionar el valor CN se tiene en cuenta el estado de humedad del suelo previo a la lluvia que se estudia, considerando la cantidad de lluvia caída en el período de los cinco (5) días anteriores, estableciéndose tres (3) clases de relaciones con dicha cantidad de lluvia.

**Tabla 34.** Condiciones de humedad antecedente a la lluvia.

Período vegetativo	Lluvia antecedente
Período inactivo de las plantas	Lluvia acumulada de los 5 días previos al aguacero en consideración
I	00,0 – 12,7 mm
II	12,7 – 28,0 mm
III	más de 28,0 mm
Período de crecimiento de las plantas	
I	00,0 – 35,5 mm
II	35,5 – 53,3 mm
III	más de 53,3 mm

**Fuente:** Ven T. Chow, 1964.

Teniendo en cuenta, la saturación y la impermeabilización de la superficie de la cuenca, el modelo hidrológico se realiza para las condiciones críticas, es decir con un suelo saturado, por lo tanto, la condición de humedad antecedente es la III.

### Determinación de la lluvia efectiva

Este parámetro se calcula aplicando la relación:

$$S' = \frac{(P_e)^2}{Q} - P_e$$

Dado que la escorrentía acumulada "Q" es la misma lluvia efectiva (mm), inicialmente se determina la infiltración potencial "S" por medio de la siguiente expresión, para lo cual se debe conocer el número de curva CN.

$$S = \frac{1.000}{CN} - 10,0$$

La siguiente tabla se utiliza para determinar los valores de CN en función de las prácticas agrícolas y condición hidrológica promedio (condición II).

Para la condición hidrológica se hace referencia al grado de cobertura vegetal y puede establecerse de la siguiente manera:

- Buena            Para cobertura de más del 75% del área.
- Regular        Con cobertura entre 50% y 75%.
- Mala            Cobertura menor del 50%.

Al determinar el valor CN, se debe considerar la pendiente media de la cuenca, diferenciando entre alta, media o baja. Después de haber determinado el valor "CN" para la condición II, se puede definir el correspondiente "CN" para la condición I o para la condición III, de acuerdo con las correlaciones que existen en la literatura.

10. Con los datos anteriores se selecciona el número de curva CN que representa el complejo hidrológico suelo-cubierta vegetal de la cuenca, de acuerdo con el procedimiento mostrado. El valor de curva número CN para la condición de humedad antecedente III se determinó en función del tipo de suelo, cobertura vegetal y relieve. Estas características fueron determinadas mediante el análisis de la información mostrada anteriormente.

**Tabla 35.** Valor del CN de la cuenca quebrada La Esperanza

Cobertura vegetal	Porcentaje	Condición III
	%	CN
1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.03	92
2.3.2 Pastos arbolados	51.35	89
2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos	33.18	89
2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	0.24	90

Cobertura vegetal	Porcentaje	Condición III
	%	CN
3.1.1.2.1 Bosque denso bajo de tierra firme	0.01	82
3.1.3 Bosque fragmentado	7.36	82
3.2.3 Vegetación secundaria o en transición	4.83	94
<b>Valor ponderado</b>		89

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

11. Se determina el tiempo de concentración para la cuenca utilizando la pendiente longitudinal y los desniveles correspondientes. En el numeral 5.1.5, se muestra el cálculo de los tiempos de concentración, el tiempo de rezago es el 60% del  $T_c$ , por lo tanto, es de 14.05 min.

12. Seguidamente se construye el hidrograma final de la creciente resultante de la cuenca utilizando el programa HEC-HMS 4.2.1. En el Anexo 5.2 se muestran los cálculos realizados por HEC-el programa en mención.

### 5.5.3 Crecientes máximos obtenidos para la cuenca aportante

Siguiendo el procedimiento mostrado en el anterior numeral se utilizó el programa HEC-HMS 4.2.1 para realizar los cálculos completos. A continuación, se muestran las crecientes máximas obtenidos al aplicando la metodología anteriormente expuesta con los parámetros indicados con diferentes períodos de retorno.

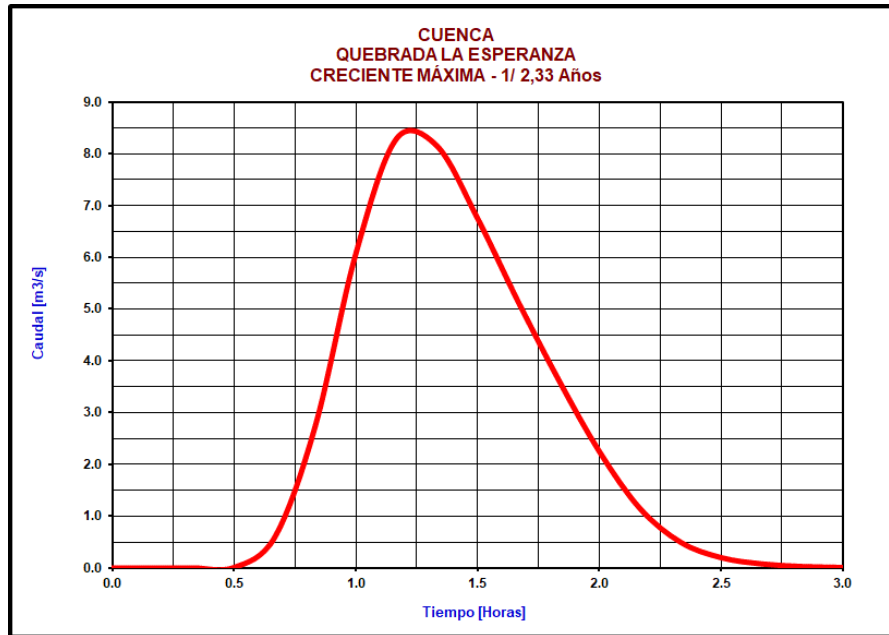
Los siguientes son los valores de las crecientes obtenidas para la cuenca aferente, la cual tiene como punto de cierre las coordenadas E: 1.049.907 m y N: 1.024.374 m. (ver **Tabla 36**):

**Tabla 36.** Resultados del modelo hidrológico

Cuenca	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)						
	Tr 2.33 años	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 15 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
Q. La Esperanza	8.29	10.38	11.75	12.42	13.18	14.09	14.89

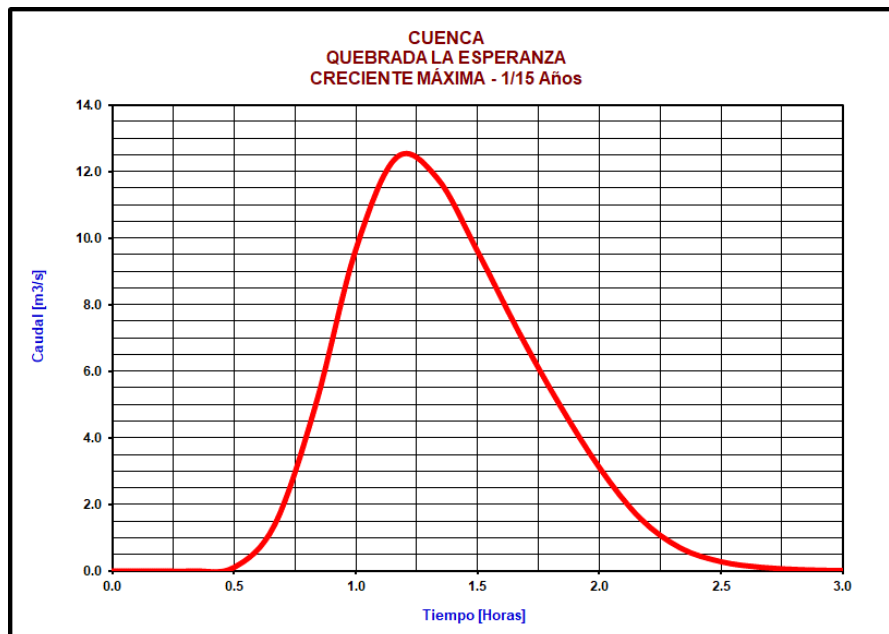
Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los diferentes periodos de retorno (ver **Figura 45 a Figura 47**). Los datos de origen se encuentran en el Anexo 5.2.



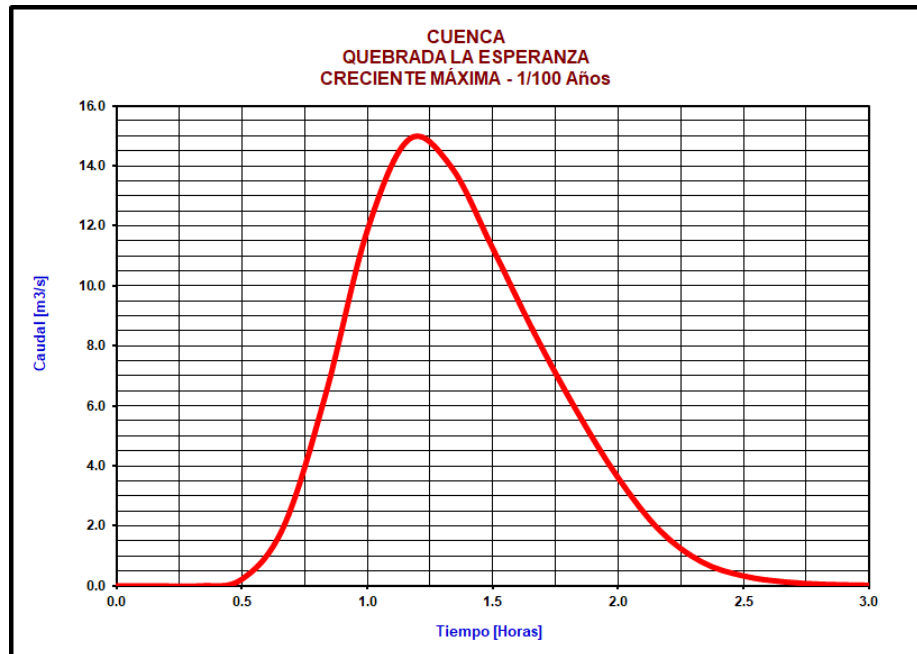
**Figura 45.** Hidrograma de creciente para un periodo de retorno de 2.33 años Quebrada La Esperanza.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 46.** Hidrograma de creciente para un periodo de retorno de 15 años Quebrada La Esperanza.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 47.** Hidrograma de creciete para un periodo de retorno de 100 años Quebrada La Esperanza.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

## 5.6 Modelación hidráulica para la quebrada La Esperanza

Para desarrollar la modelación hidráulica de la Quebrada La Esperanza, localizada en el municipio de Gachetá, fue necesario desarrollar los siguientes pasos metodológicos con el propósito de realizar el acotamiento de ronda.

### 5.6.1 Configuración del modelo hidrodinámico 2D

La discretización topológica del sistema se basó en las características del drenaje de la zona de estudio. En términos generales, el dominio se discretizo de la siguiente forma:

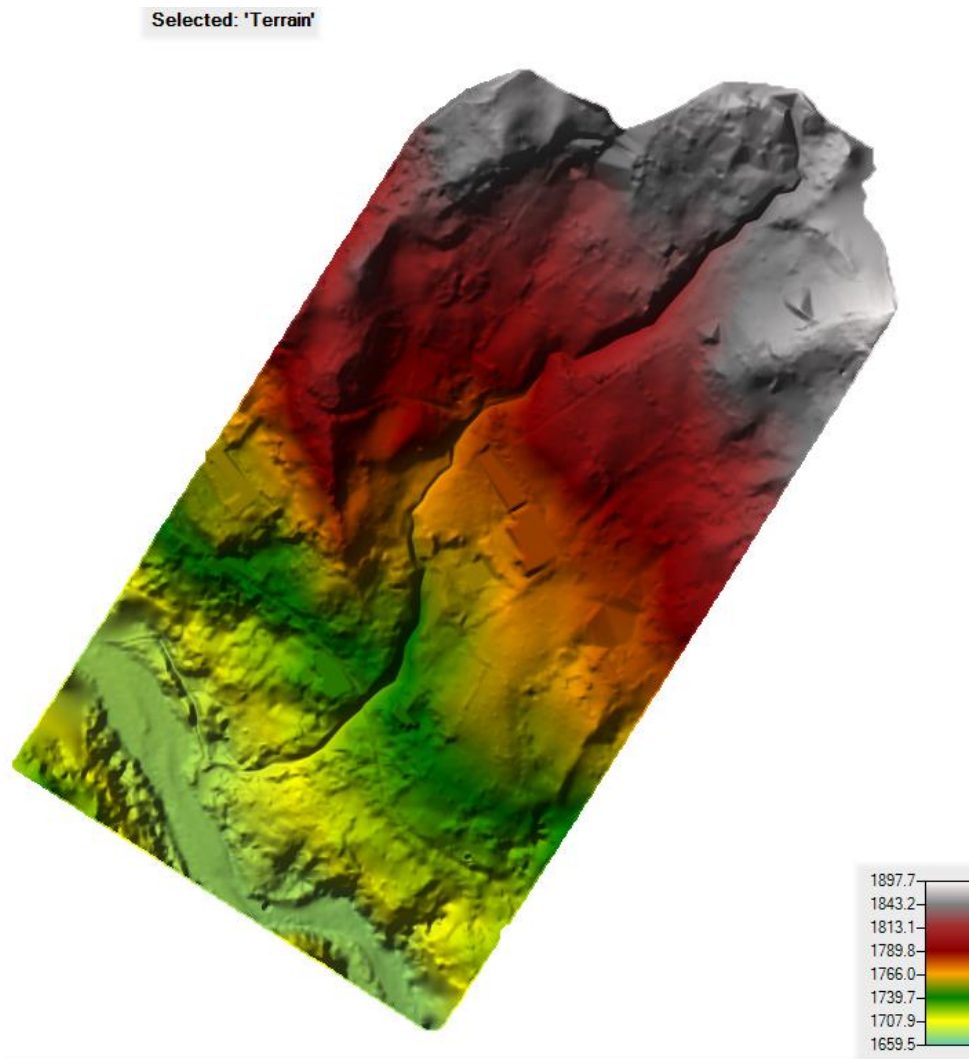
- Una zona de modelación 2D, compuesto por toda la parte de la cuenca y la planicie inundable en el municipio de Gachetá, el cual es cubierta por la Quebrada La Esperanza.

### 5.6.2 Discretización del dominio 2D

Para poder calcular los patrones de flujo en el dominio 2D se hace necesario la discretización de esta área en elementos más pequeños.

La malla después de haber sido refinada empleo celdas desde 0,15 m de lado, estos valores de las celdas fueron seleccionados teniendo en cuenta que una malla más pequeña es difícil muchas veces debido a sus altos costos computacionales. Esto favorecerá al proceso de verificación del modelo hidrodinámico, el cual consume tiempo y está íntimamente ligado a los tiempos de cálculo para cada uno de los escenarios planteados.

La malla utilizó el Modelo de Elevación digital (DEM) creado por el equipo de SIG de la consultoría, a partir de la unión del levantamiento Lidar y las batimetrías, que posee una resolución espacial de 15 cm por 15 cm que fue generado con información primaria de la agregación de la topobatimetría.

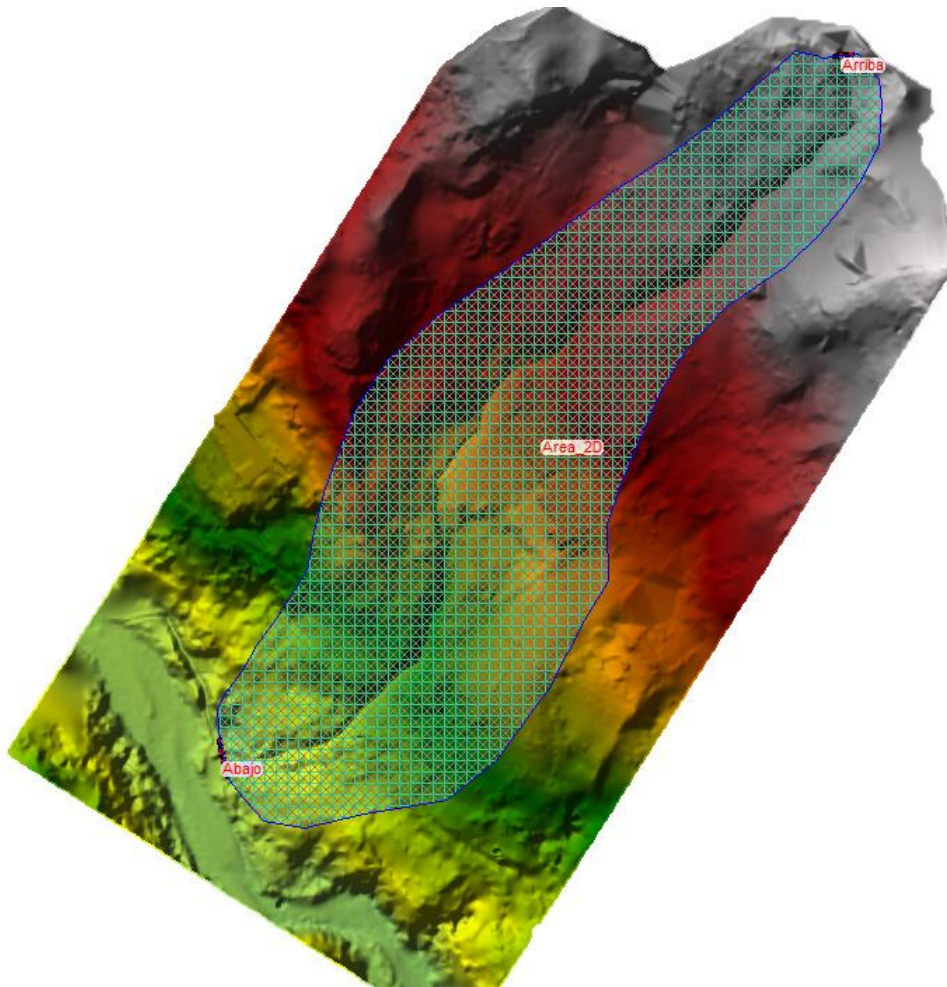


**Figura 48.** Modelo De Elevación digital  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 5.6.3 Condiciones de borde e iniciales del modelo

Para alimentar el modelo, se fijaron una serie de puntos en el dominio 2D por donde entraría el flujo de agua proveniente de la parte alta de la cuenca. En la **Figura 49** se presentan todas las condiciones de borde e iniciales del modelo hidráulico, el cual aplica para los modelos hidráulicos para cada uno de los periodos de retorno.

Como caudales de entrada, se condicionaron hidrogramas de **3.0h** de duración para cada periodo de retorno, con el fin de garantizar el tránsito de la creciente a lo largo del tramo de estudio.



**Figura 49.** Condiciones de Frontera a)  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

#### 5.6.4 Coeficientes de rugosidad

Con el fin de representar lo mejor posible la resistencia hidráulica del río se adelantó un trabajo de campo consistente en analizar la granulometría del material del lecho, los posibles obstáculos en el propio cauce, las condiciones de las laderas, la presencia de vegetación y todos los demás parámetros que influyen en este parámetro, el cual se expresa mediante el coeficiente de rugosidad de Manning y de la observación de una imagen de satélite geo-referenciada, de los apuntes y fotos de campo, tablas tomadas de Chow (2004) e imágenes de Barnes (1967) y proceder o a estimar los valores de la n de Manning para cada sector.

El coeficiente de resistencia se determinará con la siguiente expresión, similar a la de Cowan (Ochoa Tomás. 2002), el cual se deben sumar los valores de las unidades identificadas de acuerdo a la literatura:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6) m_1 \cdot m_2$$

$n_0$  - Valor de n para un río recto y prismático que considera sólo la textura del lecho

$n_1$  - Valor de n por efectos del relieve del lecho creado por las microformas

$n_2$  - Valor de n debido al tamaño y a la forma de la sección transversal

$n_3$  - Valor de n debido a las irregularidades de la sección transversal

$n_4$  - Valor de n debido a las variaciones de tamaño y forma de la sección

$n_5$  - Valor de n asociado a las obstrucciones al flujo

$n_6$  - Valor de n por vegetación

$m_1$  - Factor correctivo relacionado con el transporte de sedimentos

$m_2$  - Factor correctivo por la presencia de curvas o meandros en planta

- *Para el cauce:*

Para este caso se calculó un coeficiente "n" de Manning de la siguiente manera:

$n_0 = 0.010$  Materiales finos

$n_1 = 0.002$  Con algunas microformas

$n_2 = 0.004$  Forma trapezoidal poco uniforme

$n_3 = 0.005$  Sección irregular

$n_4 = 0.004$  Variaciones en la forma de la sección

$n_5 = 0.006$  Obstrucciones moderadas

$n_6 = 0.010$  Presencia frecuente de vegetación

$m_1 = 1.00$  Influencia moderada de los sedimentos en suspensión

$m_2 = 1.10$  Influencia moderada de curvas

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6) m_1 \cdot m_2$$

$$n = (0.010 + 0.002 + 0.004 + 0.005 + 0.004 + 0.006 + 0.010) \cdot 1.00 \cdot 1.10 = \mathbf{0.045}$$

- *Para las zonas de inundación:*

Para este caso se calculó un coeficiente "n" de Manning de la siguiente manera:

$n_0 = 0.015$  Materiales finos

$n_1 = 0.002$  Con algunas microformas

$n_2 = 0.005$  Forma trapezoidal poco uniforme

$n_3 = 0.007$  Sección irregular

$n_4 = 0.005$  Variaciones en la forma de la sección

$n_5 = 0.008$  Obstrucciones moderadas

$n_6 = 0.012$  Presencia frecuente de vegetación

$m_1 = 1.02$  Influencia moderada de los sedimentos en suspensión

$m_2 = 1.10$  Influencia moderada de curvas

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6) m_1 \cdot m_2$$

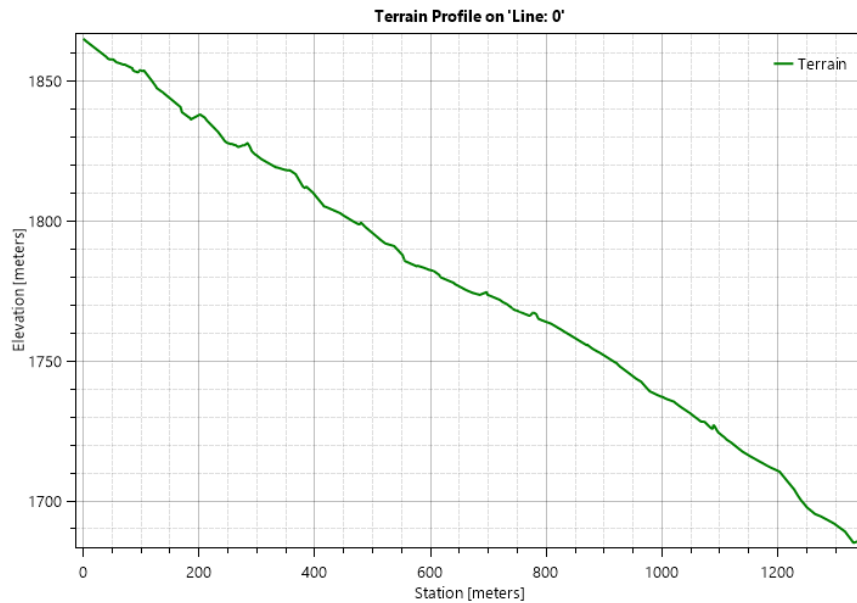
$$n = (0.015 + 0.002 + 0.005 + 0.007 + 0.005 + 0.007 + 0.012) \cdot 1.02 \cdot 1.10 = \mathbf{0.060}$$

### 5.6.5 Resultados del modelo hidráulico

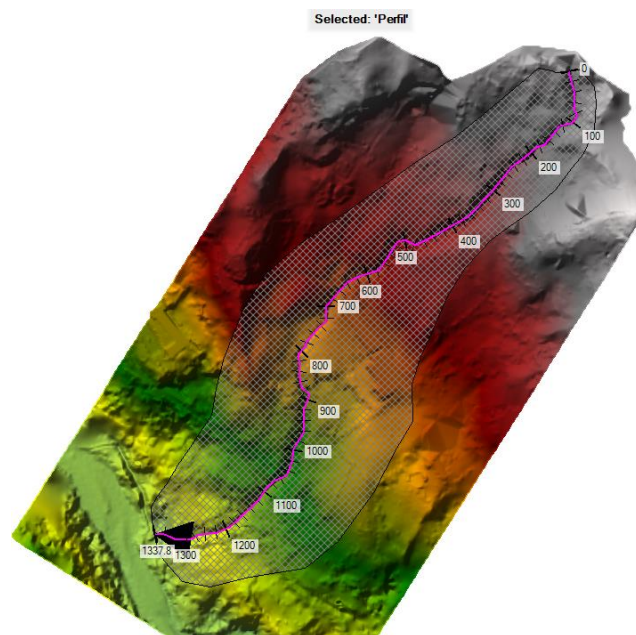
A partir de las modelaciones hidráulicas realizadas para el Quebrada La Esperanza localizada en el municipio de Gachetá, a continuación, se muestran los resultados la cuenca de estudio de la velocidad, profundidad y mancha de inundación máxima simulada. En el Anexo 5.3 se presentan las modelaciones hidrodinámicas realizadas.

A continuación, se presentan las figuras para cada uno de los resultados de modelación de la Quebrada La Esperanza.

- **Perfil del terreno**



**Figura 50.** Perfil del Terreno  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 51.** Trazado del perfil del terreno  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultados para un periodo de retorno de 2.33 años**

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 2.33 años (ver **Tabla 37**).

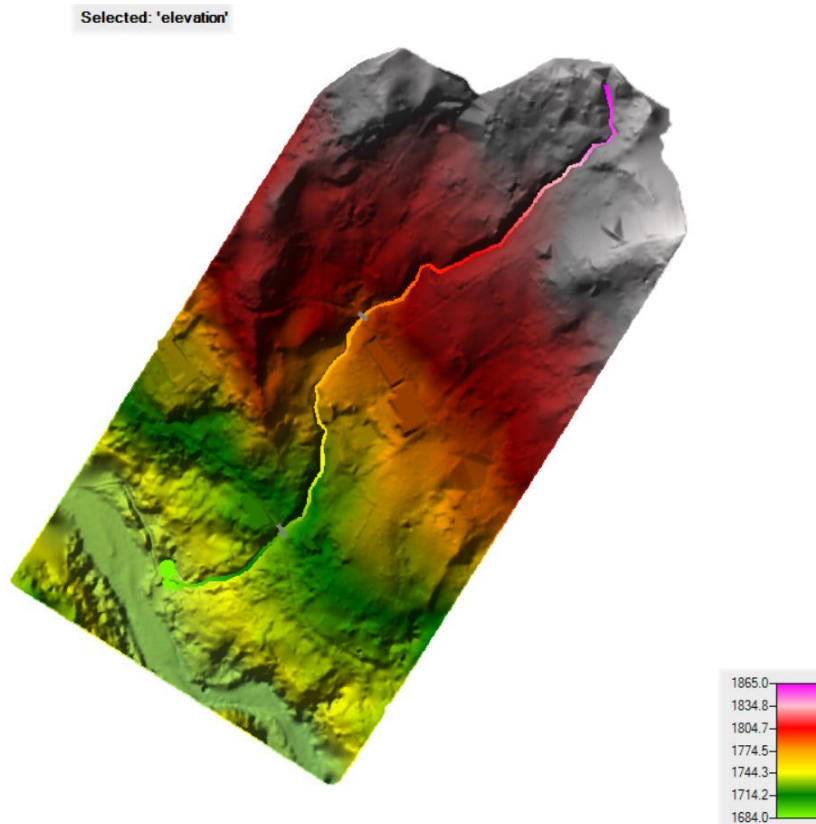
**Tabla 37.** Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 2.33 años

Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)		Elevación del agua (msnm)		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
8.29	3.59	0.47	1.82	1684.99	1762.18	1865.25

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Elevación del nivel del agua Tr. 2.33 años

Finalmente, la elevación de los niveles del agua varía entre **1684.99** y **1865.25** msnm, para el tramo de estudio.

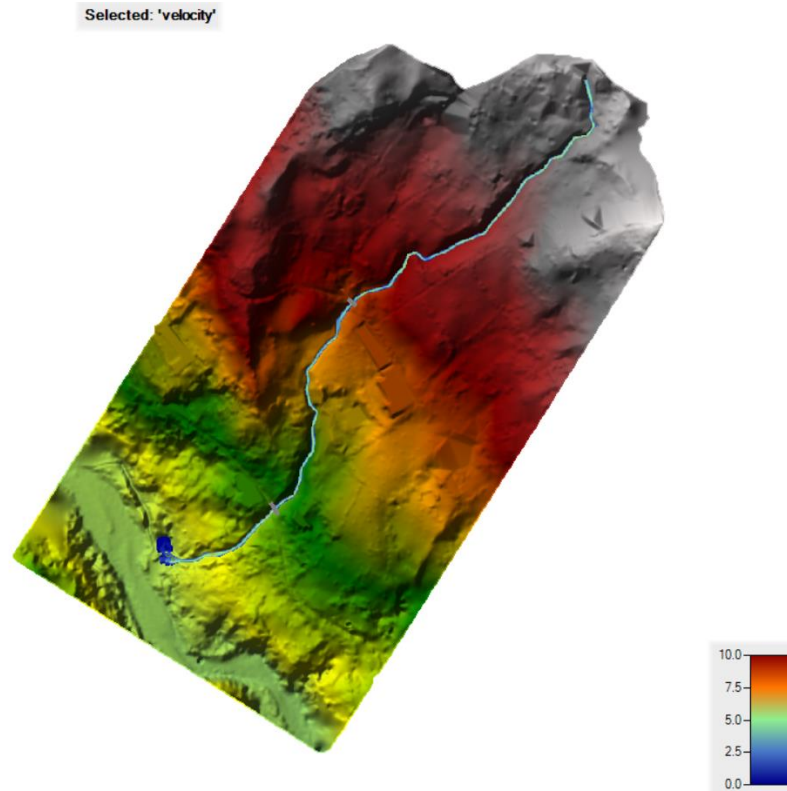


**Figura 52.** Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua Tr 2.33 años

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Velocidades máximas del agua Tr 2.33 años

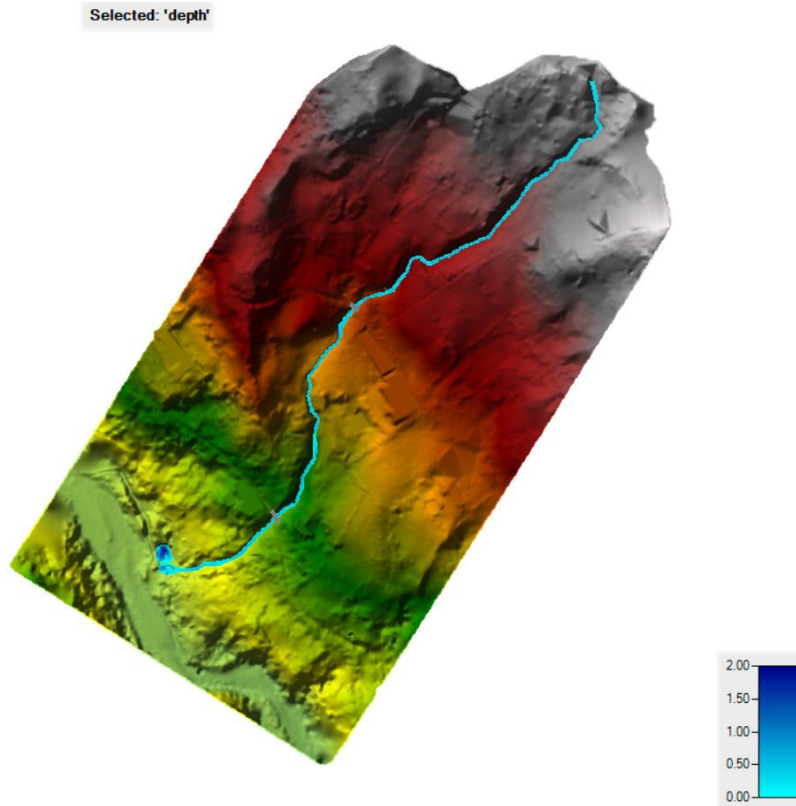
La velocidad promedio en el tramo de estudio de la quebrada La Esperanza de 3.59 m/s.



**Figura 53.** Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 2.33 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

- Profundidades máximas del agua Tr 2.33 años

En conclusión, la profundidad del agua se encuentra entre **0** y **1.82 m** de altura y una profundidad promedio de 0.47 m.



**Figura 54.** Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 2.33 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultados para un periodo de retorno de 5 años**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 5 años.

**Tabla 38.** Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 5 años

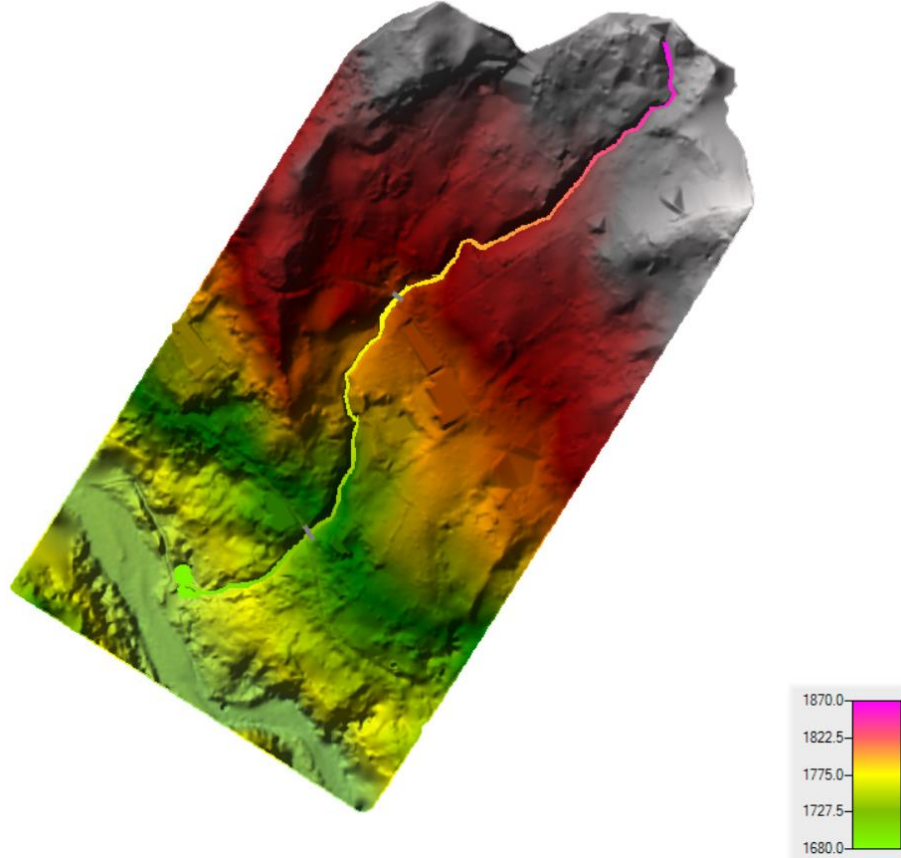
Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)		Elevación del agua (msnm)		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
10.38	3.85	0.51	1.83	1685.03	1762.52	1865.34

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Elevación del nivel del agua Tr. 5 años

Finalmente, la elevación de los niveles del agua varía entre **1685.03** y **1865.34** msnm, para el tramo de estudio.

Selected: 'elevation'



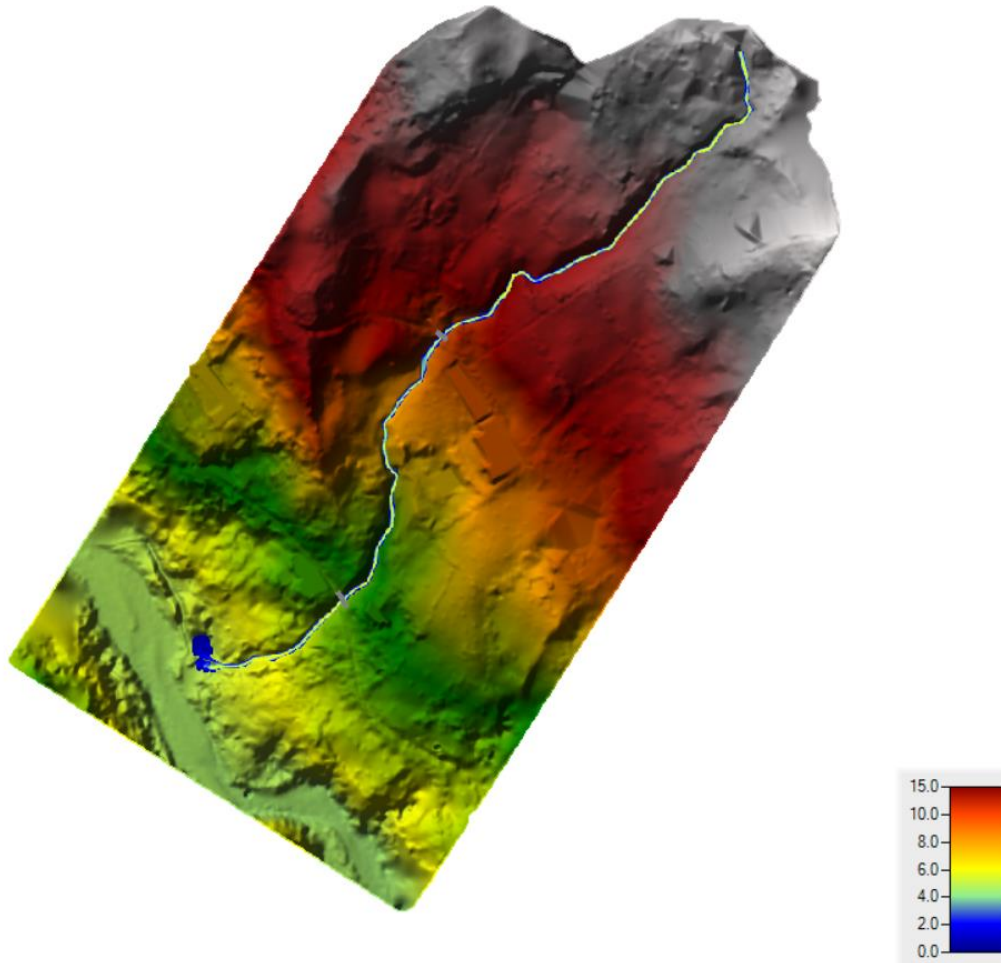
**Figura 55.** Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 5 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Velocidades máximas del agua Tr 5 años

La velocidad promedio en el tramo de estudio de la quebrada La Esperanza de 3.85 m/s.



Selected: 'velocity'

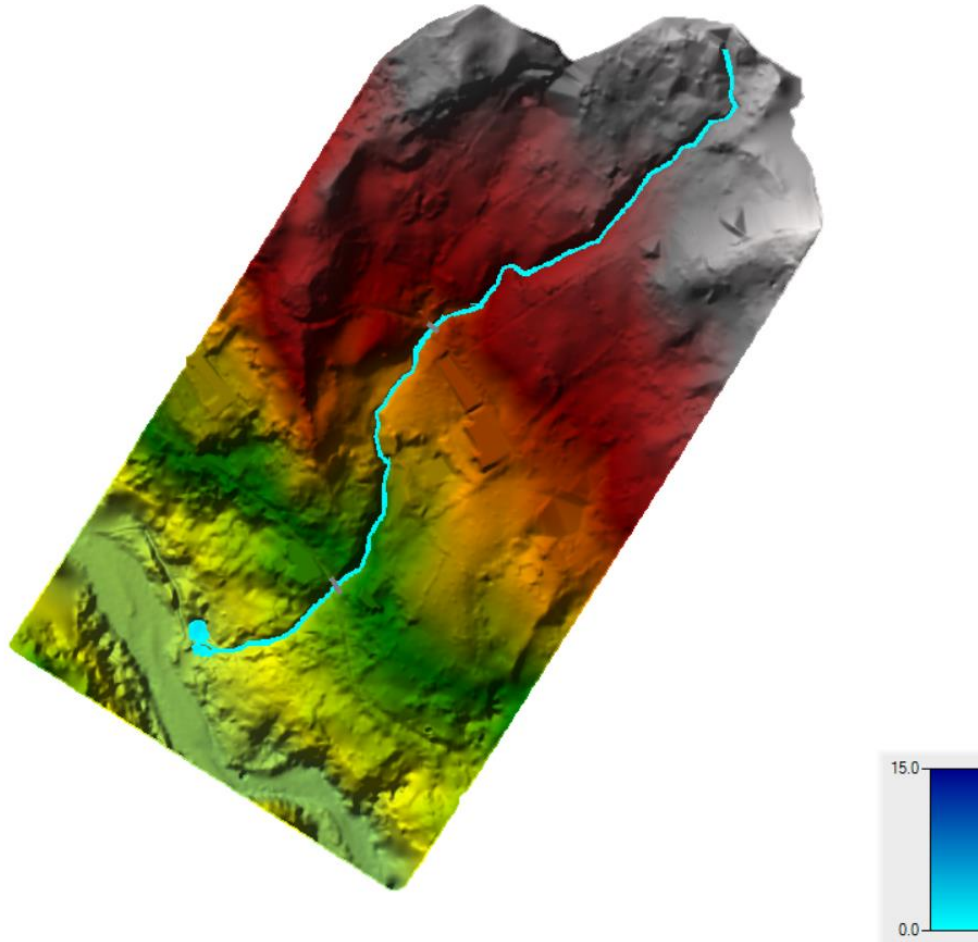


**Figura 56.** Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 5 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

- Profundidades máximas del agua Tr 5 años

En conclusión, la profundidad del agua se encuentra entre 0 y 1.83 m de altura y una profundidad promedio de 0.51 m.

Selected: 'depth'



**Figura 57.** Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 5 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultados para un periodo de retorno de 10 años**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 10 años.

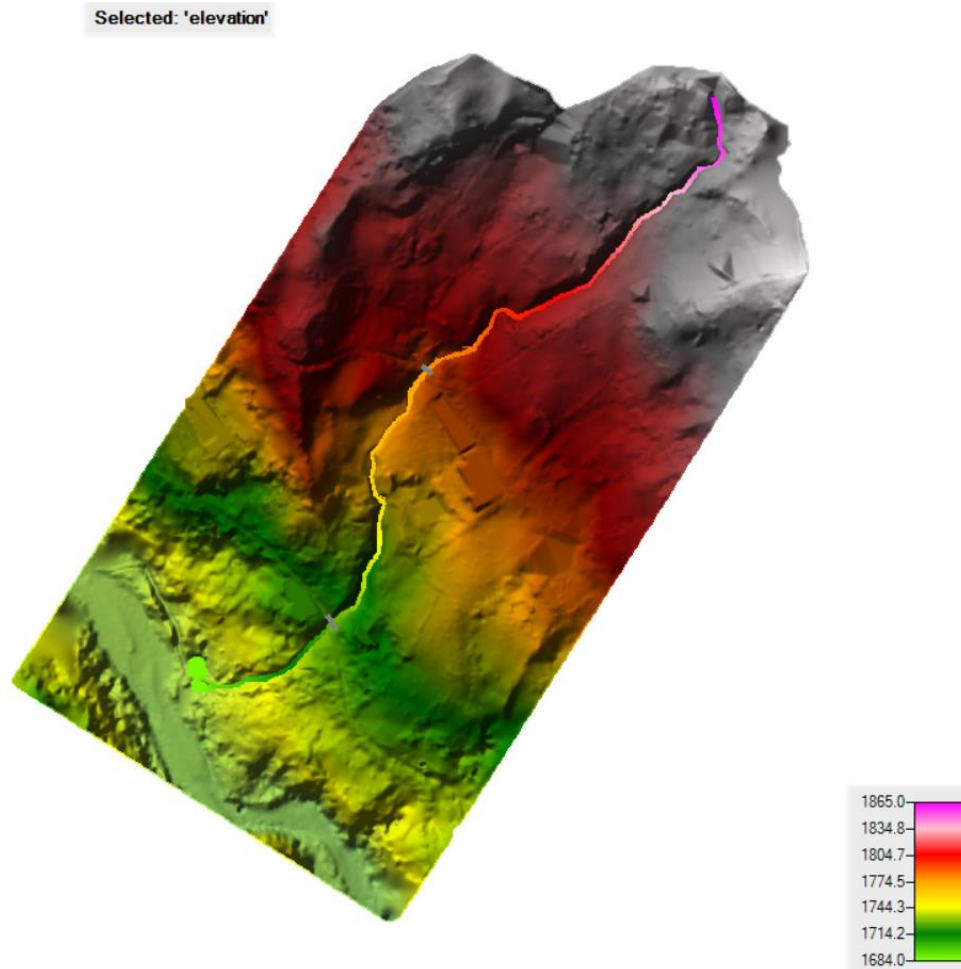
**Tabla 39.** Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 10 años

Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)		Elevación del agua (msnm)		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
11.75	3.99	0.53	1.83	1685.03	1762.74	1865.43

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Elevación del nivel del agua Tr. 10 años

Finalmente, la elevación de los niveles del agua varía entre **1685.03** y **1865.43** msnm, para el tramo de estudio.



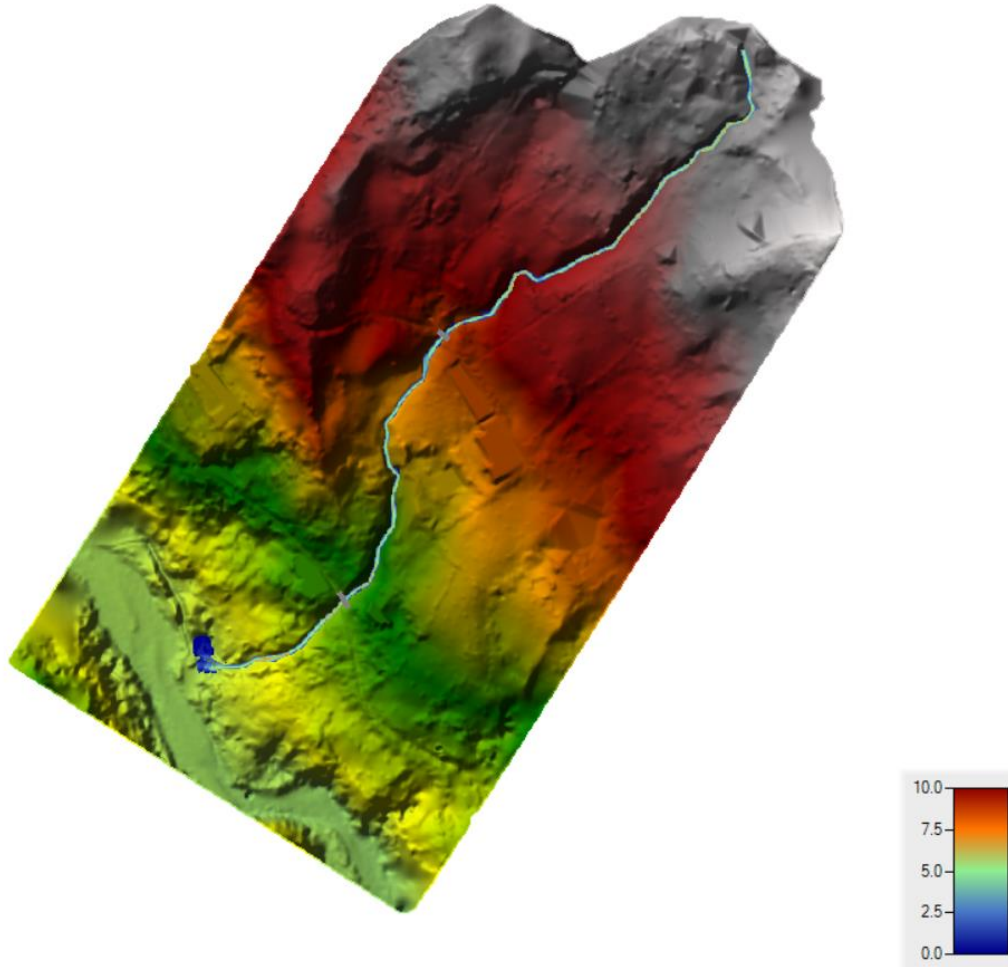
**Figura 58.** Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 10 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Velocidades máximas del agua Tr 10 años

La velocidad promedio en el tramo de estudio de la quebrada La Esperanza de 3.99 m/s.



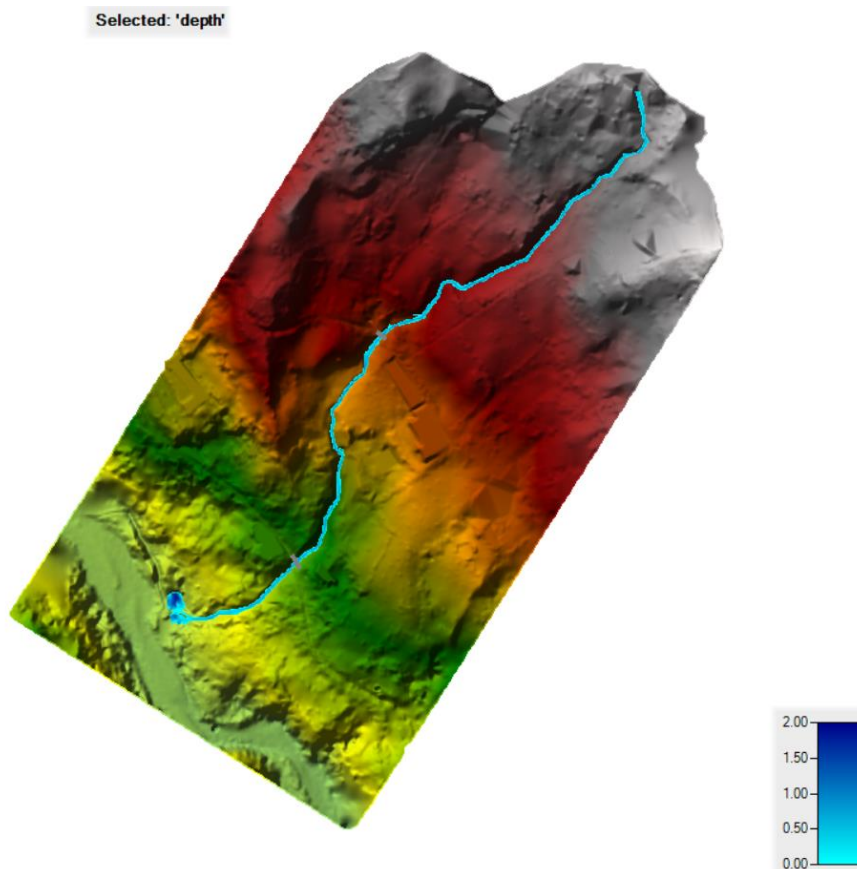
Selected: 'velocity'



**Figura 59.** Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 10 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

- Profundidades máximas del agua Tr 10 años

En conclusión, la profundidad del agua se encuentra entre 0 y 1.83 m de altura y una profundidad promedio de 0.53 m.



**Figura 60.** Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 10 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultados para un periodo de retorno de 15 años**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 15 años.

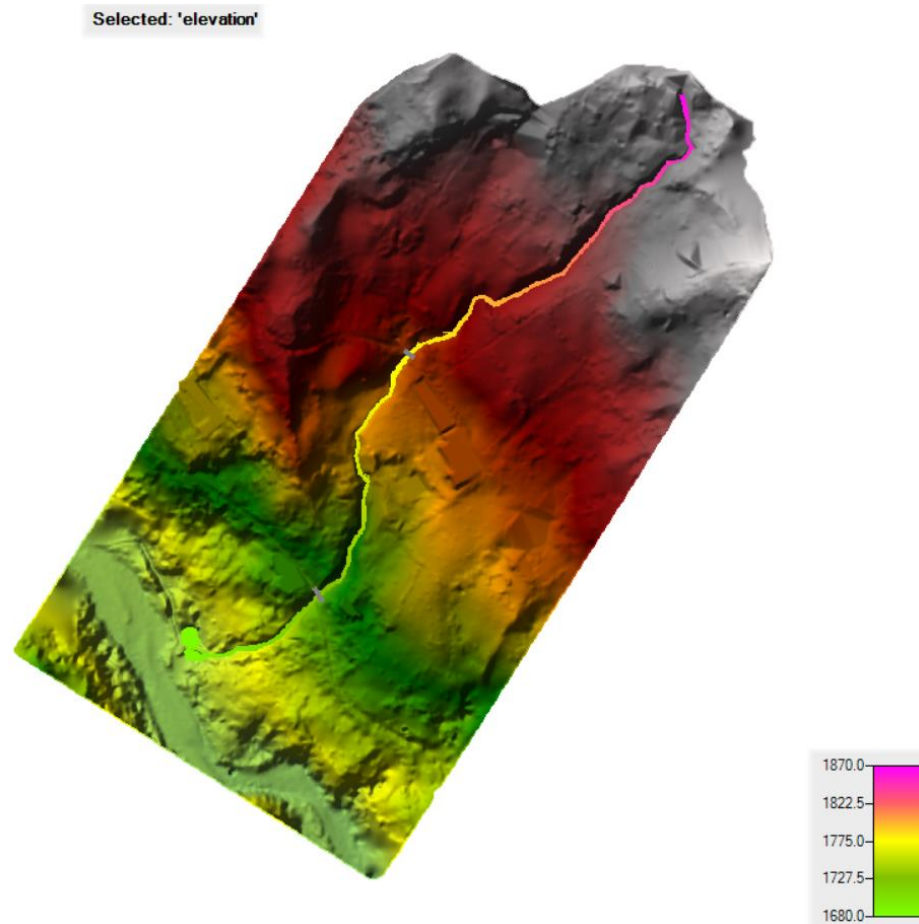
**Tabla 40.** Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 15 años

Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)		Elevación del agua (msnm)		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
12.42	4.06	0.55	1.83	1685.03	1762.83	1865.45

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Elevación del nivel del agua Tr 15 años

La elevación de los niveles del agua varía entre **1685.03** y **1865.45** msnm, para el tramo de estudio.



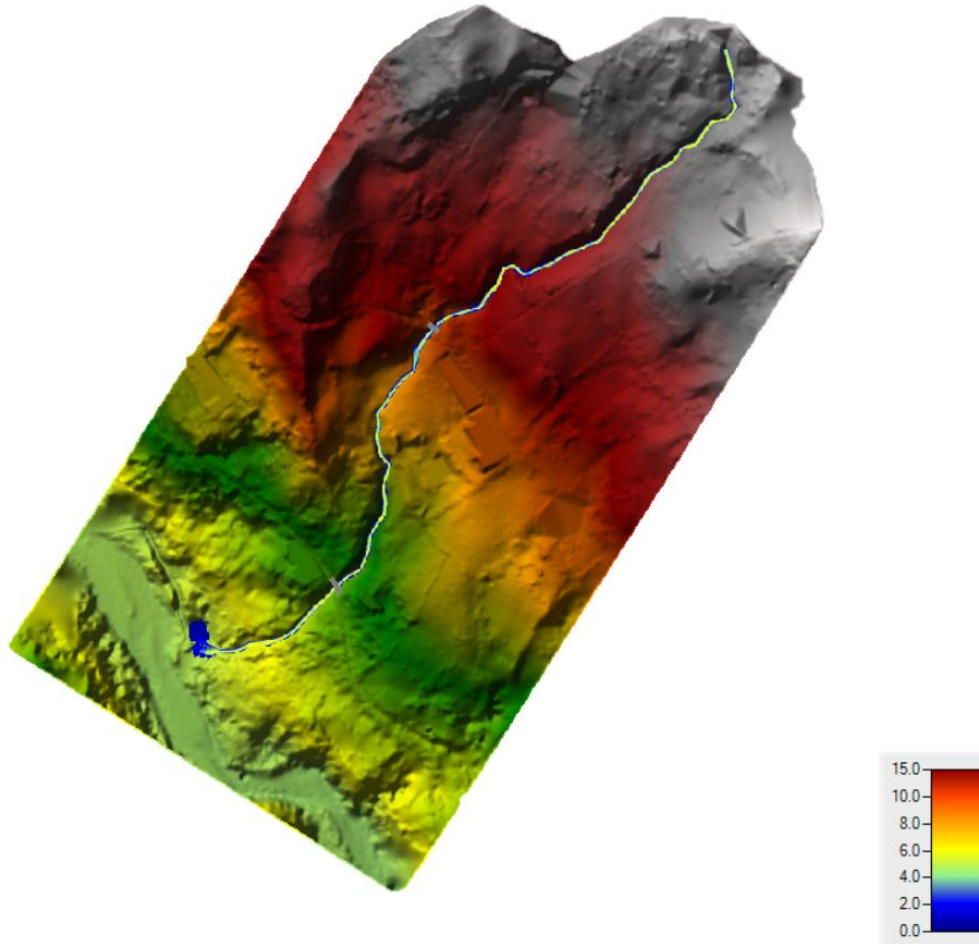
**Figura 61.** Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua Tr 15 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Velocidades máximas y mínimas del agua Tr 15 años

La velocidad promedio en el tramo de estudio de la quebrada La Esperanza de 4.06 m/s.



Selected: 'velocity'



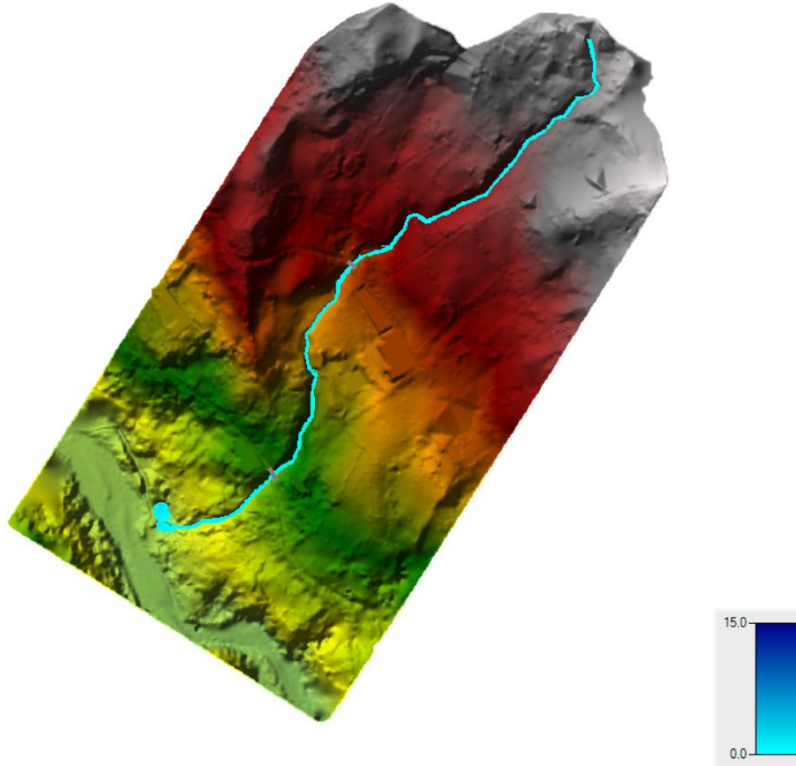
**Figura 62.** Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 15 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

- Profundidades máximas y mínimas Tr 15 años

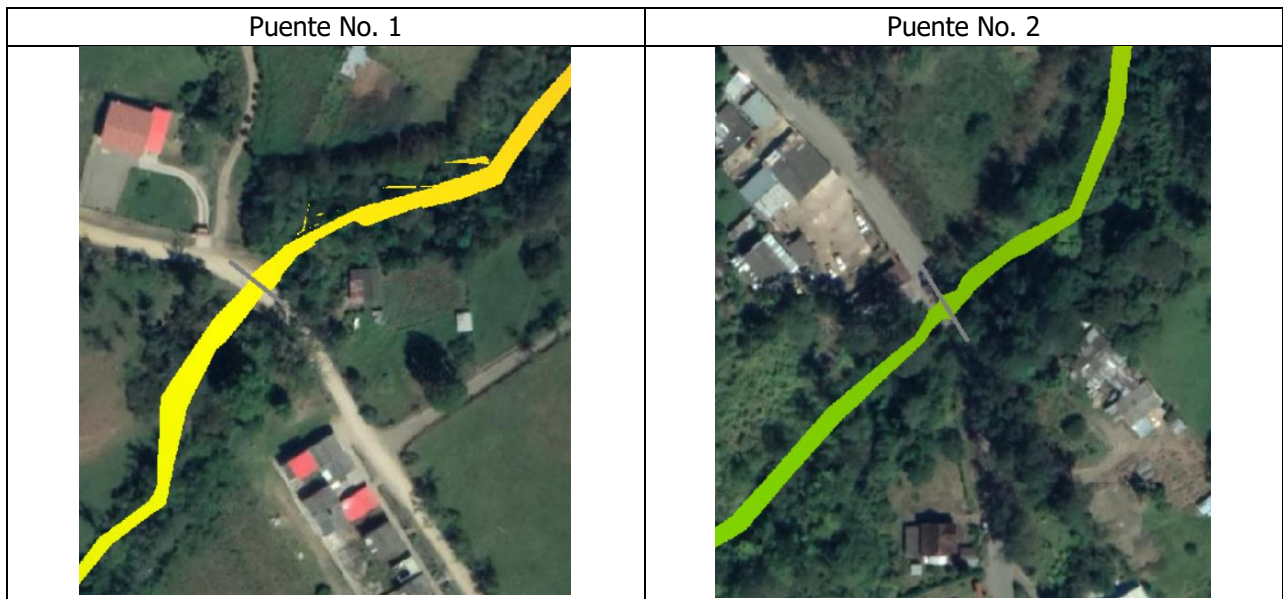
En conclusión, la profundidad del agua se encuentra entre 0 y 1.83 m de altura y una profundidad promedio de 0.55 m.



Selected: 'depth'



**Figura 63.** Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 15 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Figura 64.** Mancha de inundación del agua Tr 15 años – En los dos sitios de puentes.  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultados para un periodo de retorno de 25 años**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 25 años.

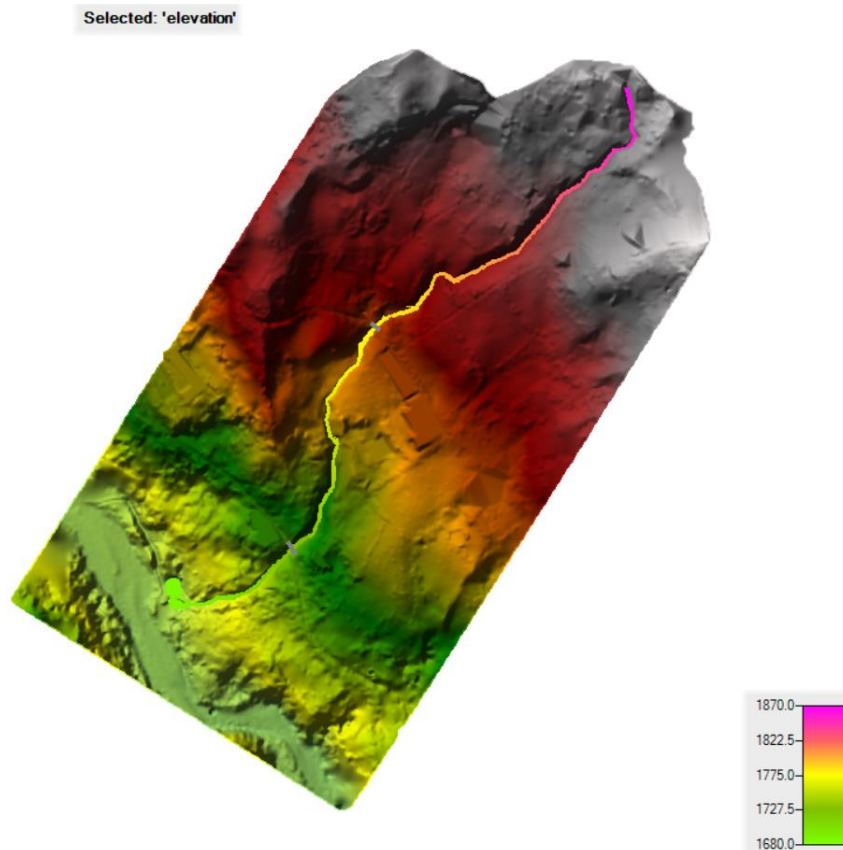
**Tabla 41.** Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 25 años

Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)		Elevación del agua (msnm)		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
13.18	4.13	0.56	1.83	1685.03	1762.93	1865.47

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Elevación del nivel del agua Tr. 25 años

Finalmente, la elevación de los niveles del agua varía entre **1685.03** y **1865.47** msnm, para el tramo de estudio.

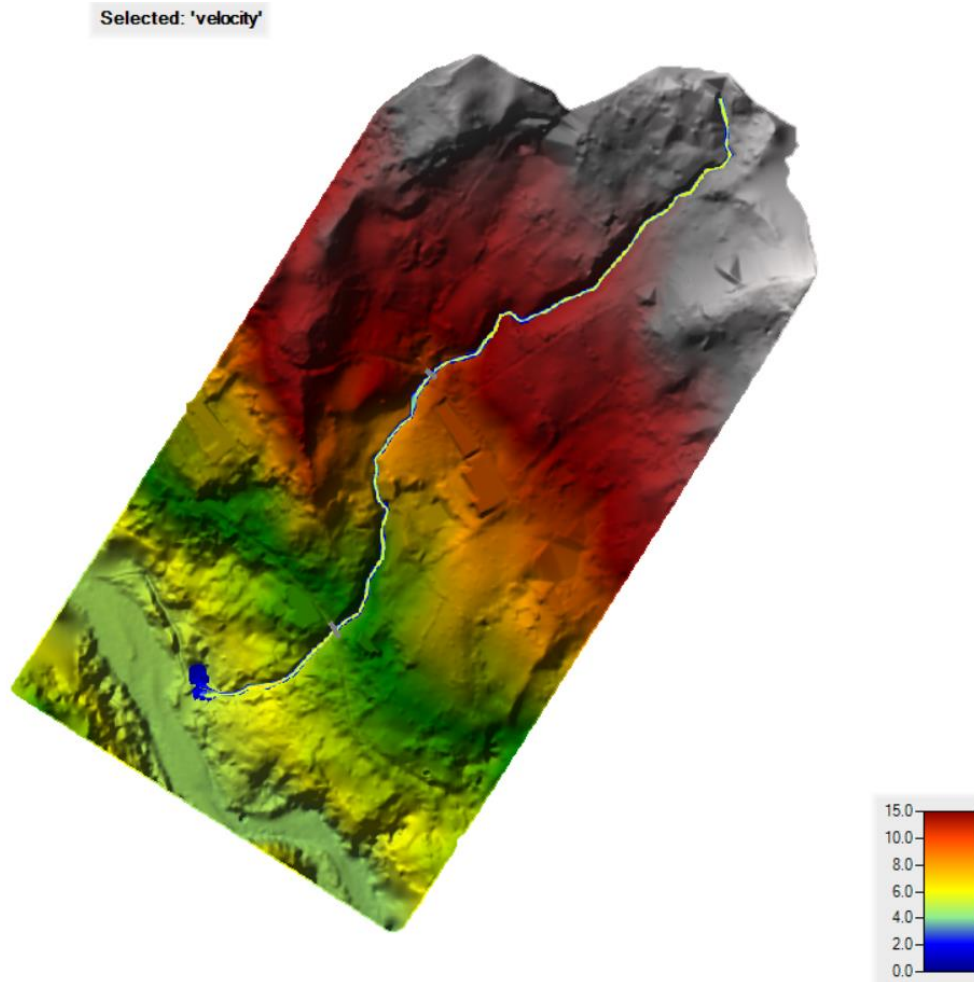


**Figura 65.** Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 25 años

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Velocidades máximas del agua Tr 25 años

La velocidad promedio en el tramo de estudio de la quebrada La Esperanza de 4.13 m/s.



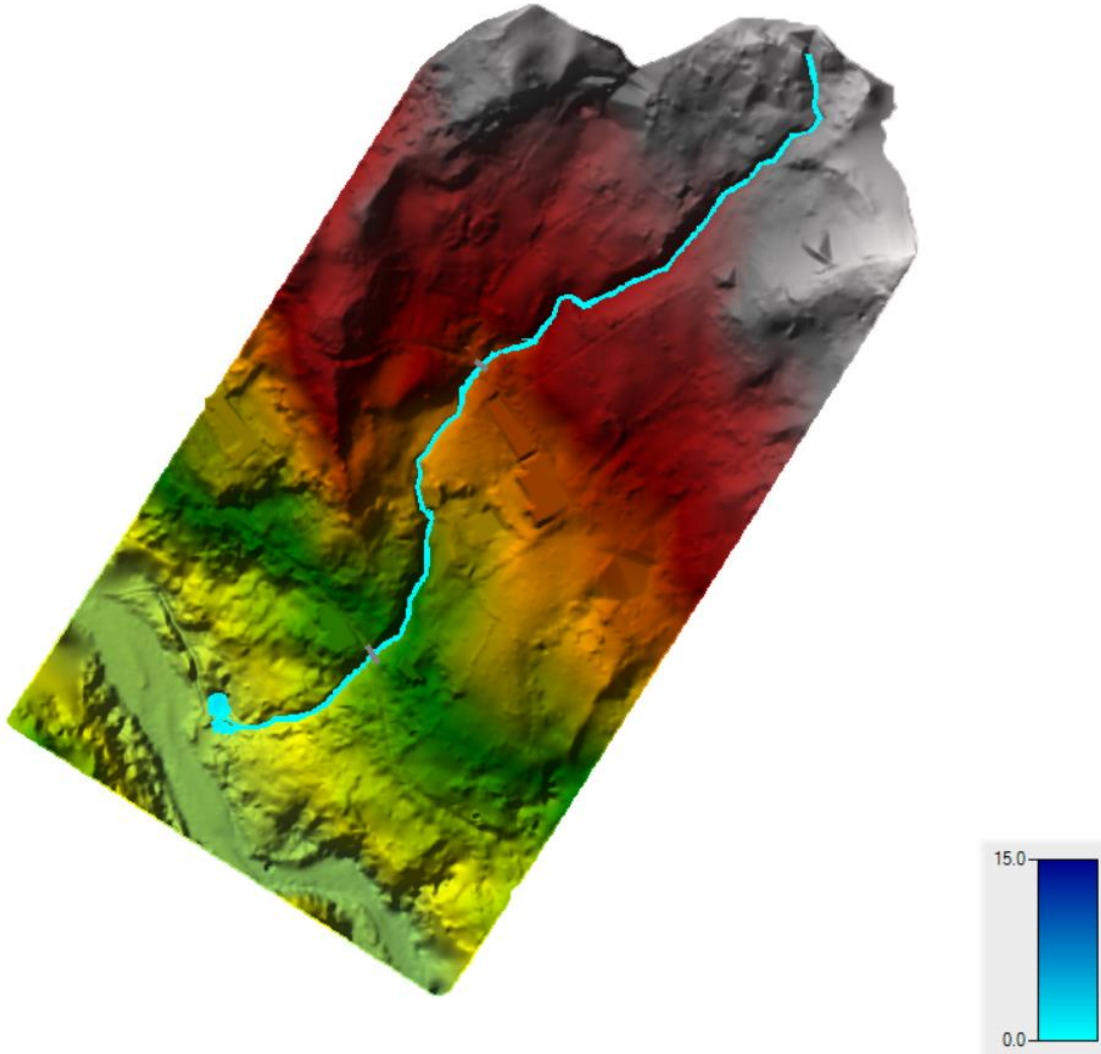
**Figura 66.** Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 25 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

- Profundidades máximas del agua Tr 25 años

En conclusión, la profundidad del agua se encuentra entre 0 y 1.83 m de altura y una profundidad promedio de 0.56 m.



Selected: 'depth'



**Figura 67.** Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 25 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultados para un periodo de retorno de 50 años**

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 50 años.

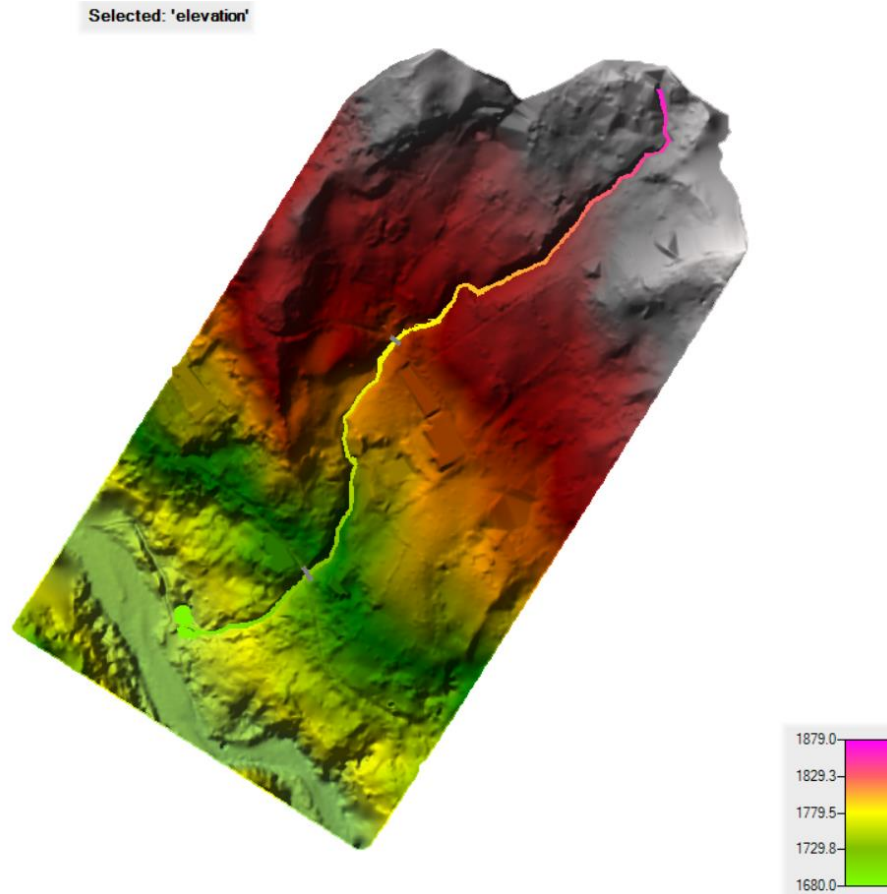
**Tabla 42.** Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 50 años

Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)		Elevación del agua (msnm)		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
14.09	4.21	0.57	1.84	1685.03	1763.05	1865.50

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Elevación del nivel del agua Tr. 50 años

Finalmente, la elevación de los niveles del agua varía entre **1685.03** y **1865.50** msnm, para el tramo de estudio.



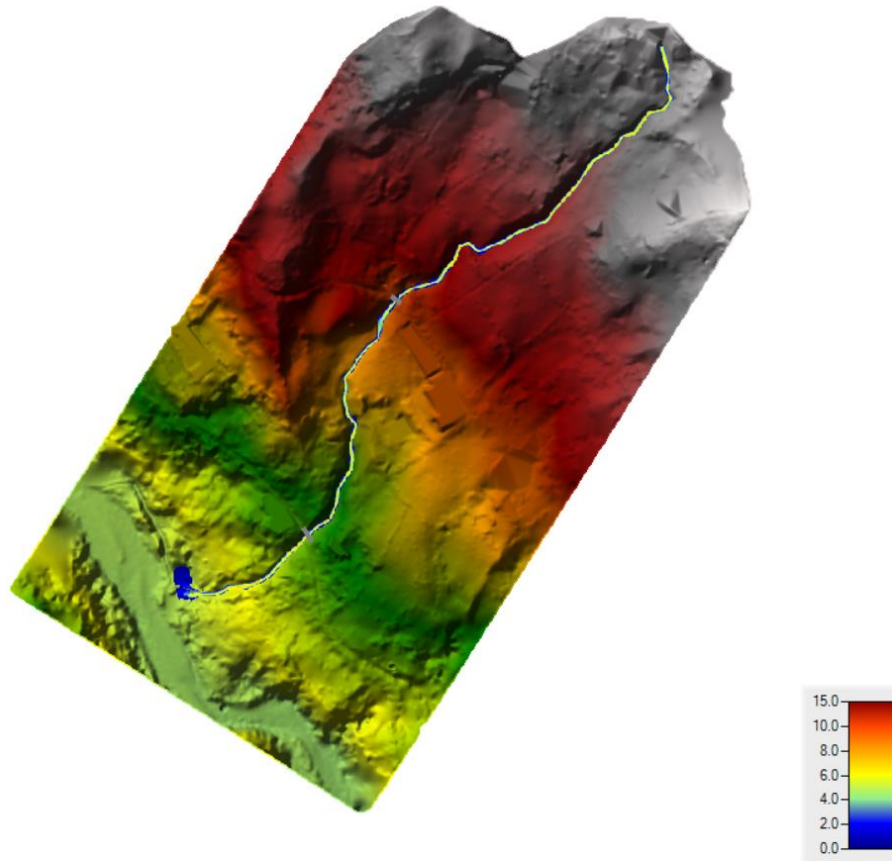
**Figura 68.** Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua 50 años  
Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Velocidades máximas del agua Tr 50 años

La velocidad promedio en el tramo de estudio de la quebrada La Esperanza de 4.21 m/s.



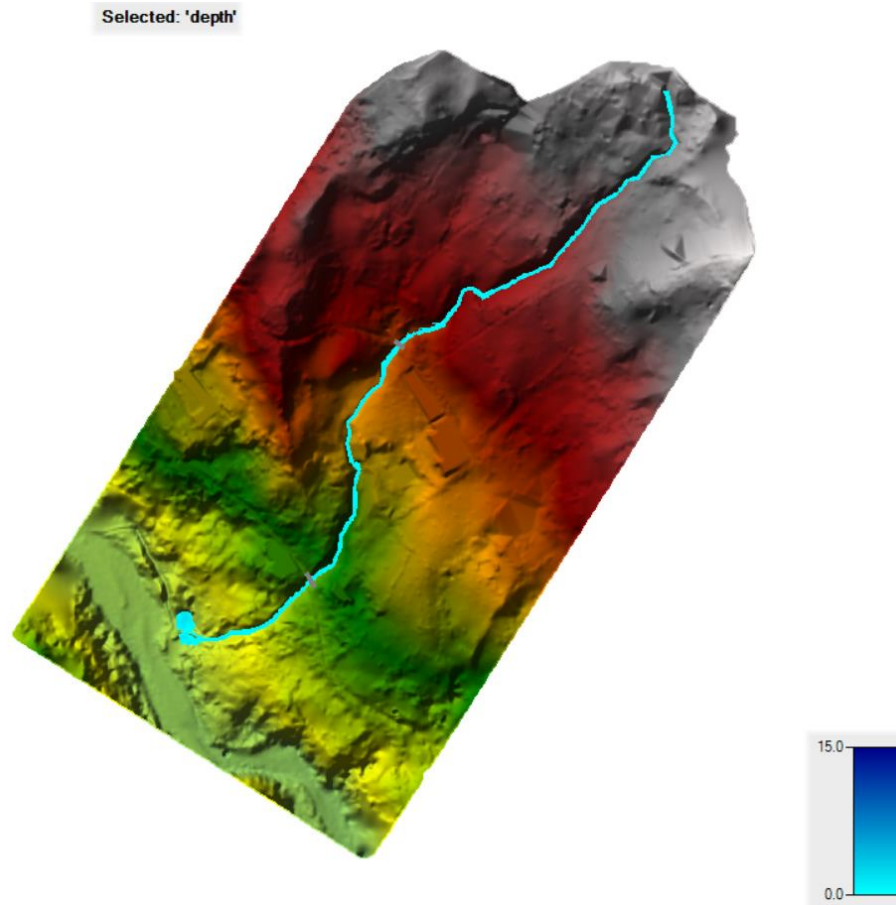
Selected: 'velocity'



**Figura 69.** Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 50 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

- Profundidades máximas del agua Tr 50 años

En conclusión, la profundidad del agua se encuentra entre 0 y 1.84 m de altura y una profundidad promedio de 0.57 m.



**Figura 70.** Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 50 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultados para un periodo de retorno de 100 años**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 100 años.

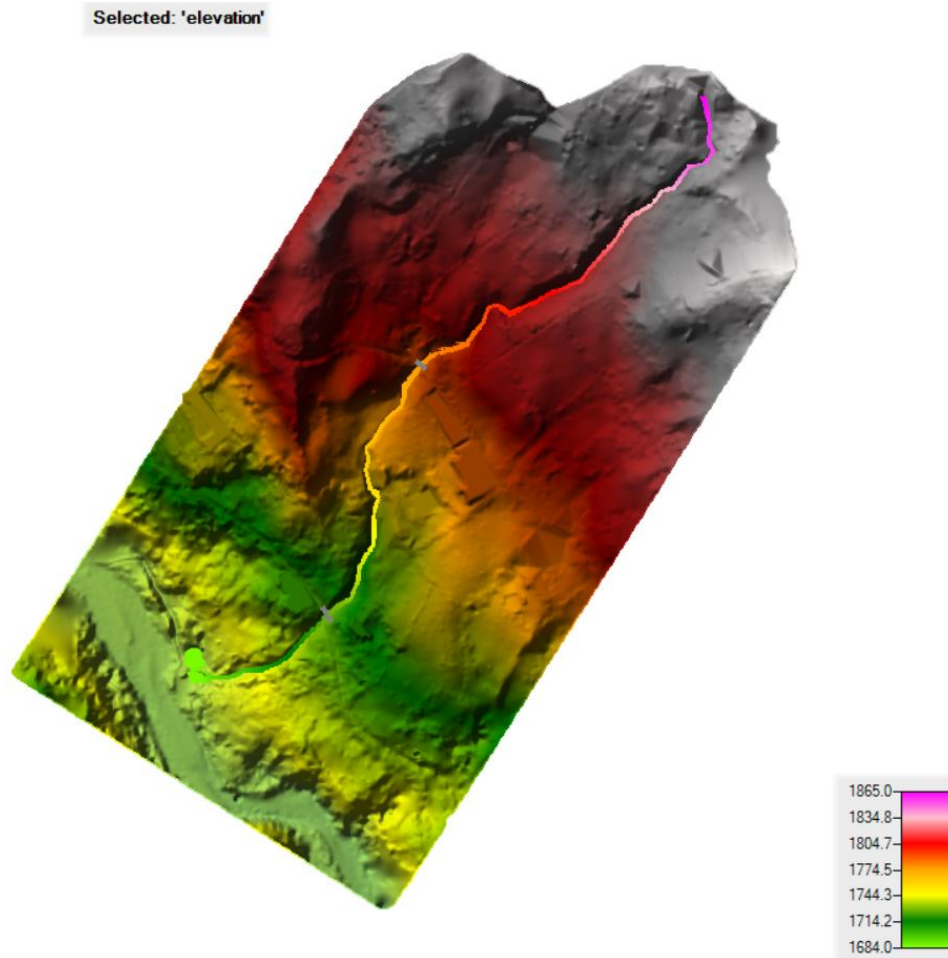
**Tabla 43.** Resultados de la modelación para un periodo de retorno de 100 años

Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)		Elevación del agua (msnm)		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
14.89	4.26	0.58	1.85	1685.05	1763.17	1865.52

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Elevación del nivel del agua Tr 100 años

La elevación de los niveles del agua varía entre **1685.05** y **1865.52** msnm, para el tramo de estudio.



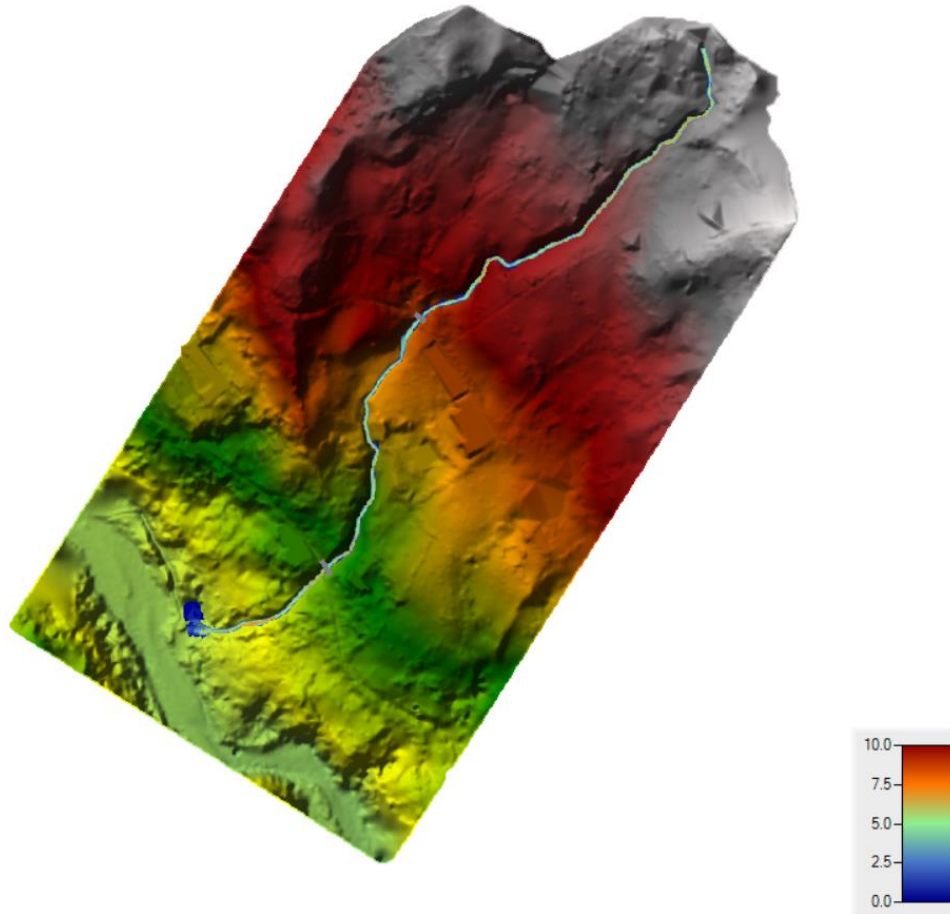
**Figura 71.** Quebrada La Esperanza - Elevación del nivel del agua Tr 100 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- Velocidades máximas del agua Tr 100 años

La velocidad promedio en el tramo de estudio de la quebrada La Esperanza de 4.26 m/s.



Selected: 'velocity'

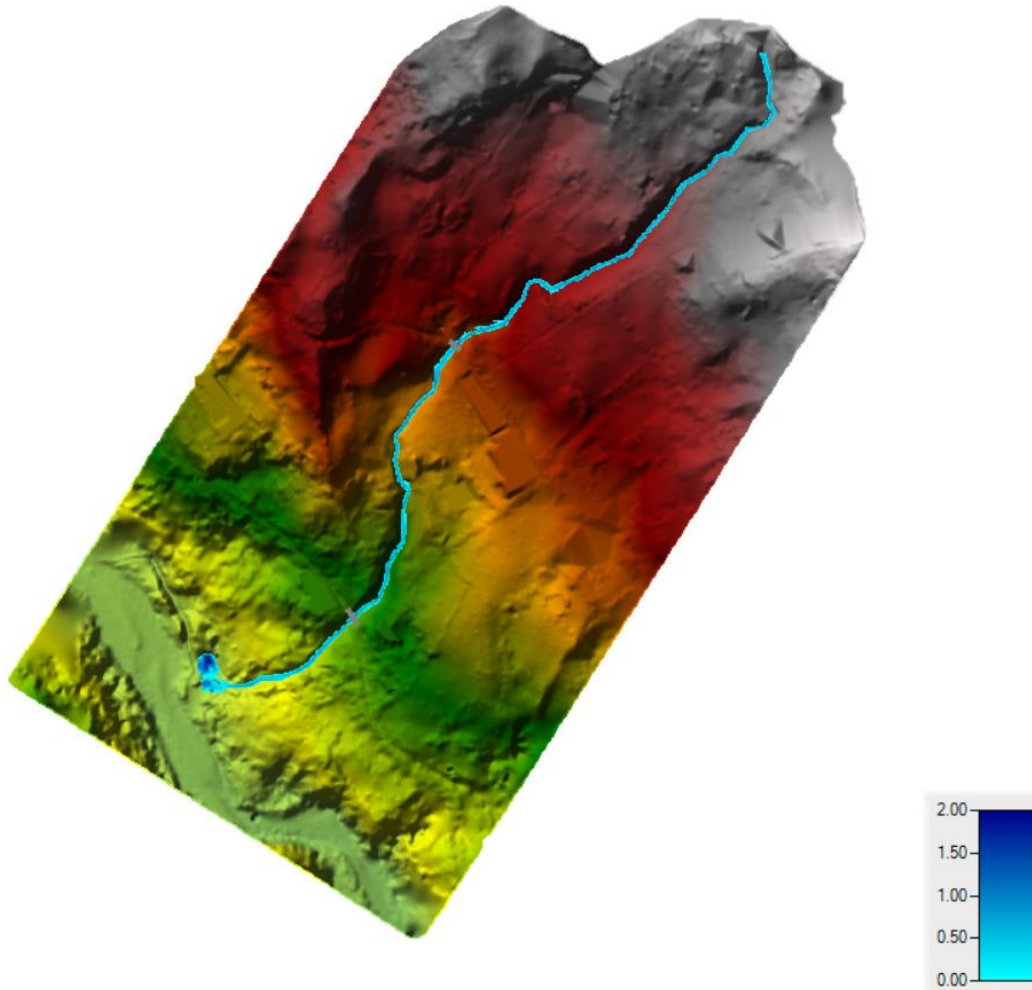


**Figura 72.** Quebrada La Esperanza - Velocidades Máximas del agua Tr 100 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019.

- Profundidades máximas del agua Tr 100 años

En conclusión, la profundidad del agua se encuentra entre 0 y 1.85 m de altura y una profundidad promedio de 0.58 m.

Selected: 'depth'



**Figura 73.** Quebrada La Esperanza - Profundidades máximas del agua Tr 100 años  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 5.6.6 Conclusiones

- El modelo de HEC-RAS en su componente de modelación bidimensional tiene una limitación en cuanto al número de celdas que puede modelar, el cual debe ser menor a 2 millones de celdas y a su vez este requiere un ordenador de robustas características de cómputo, lo cual limita el modelo en cuanto a la resolución de la grilla de modelación. Para este caso, se tomó como insumo el Modelo de Elevación Digital generado para la Quebrada La Esperanza, donde se tiene una resolución espacial de 15 cm por 15 cm, según lo especificado en los términos de referencia y según lo presentado en la previa fase de este estudio.

- La morfología del cauce se caracteriza por tener material granular y una vegetación densa en las orillas.
- Se consideró un coeficiente compuesto "n" de Manning de 0.045 para todo el cauce y en las zonas de inundación un valor de 0.060.
- El cauce principal tiene una longitud aproximada de 1300 m.
- Los valores de elevación del nivel del agua se encuentran entre 1685.03 y 1865.31msnm para un periodo de retorno de 100 años.
- La velocidad media del agua en el tramo de estudio es de 4.26 m/s para un periodo de retorno de 100 años.
- Los valores de profundidades máximas y mínimas del agua se encuentran 0.00 y 1.82 m de altura para todos los periodos de retorno.



Somos **VIDA**  
Todos **Confianza**  
**Desarrollo**

REALIZAR LOS ESTUDIOS NECESARIOS Y SUFICIENTES PARA EL ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA ESPERANZA A LA ALTURA DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GACHETÁ, DESDE LA COORDENADA E: 1.049.907 M N: 1.024.374 M, HASTA LA COORDENADA E: 1.049.440 M N: 1.023.772 M, PARA UNA LONGITUD APROXIMADA DE 900 M.

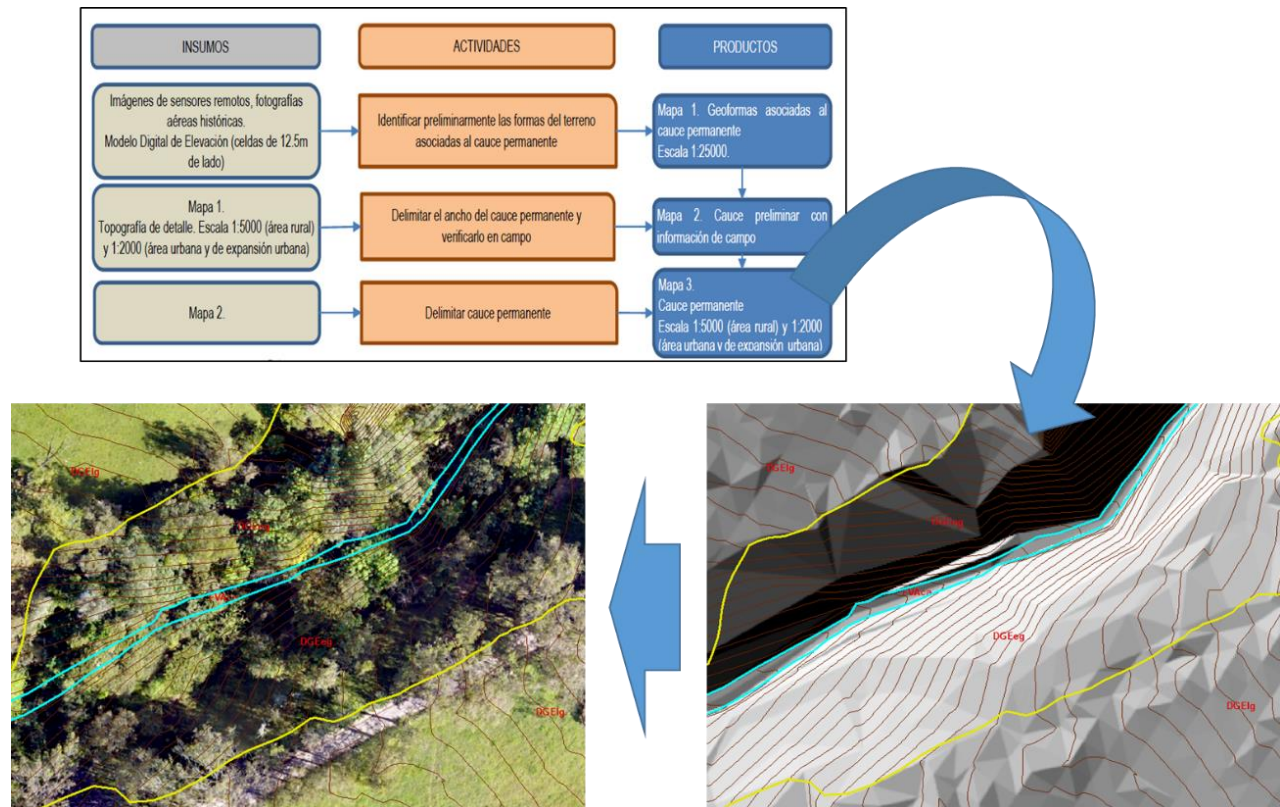


## FASE 6. DELIMITACIÓN DEL CAUCE PERMANENTE



De acuerdo con el MADS (2018), la caracterización morfológica del cauce permanente se definió a partir de una aproximación jerárquica desde el análisis de las formas de terreno; teniendo en cuenta que éste corresponde a la zona de terreno (geoforma) sobre la cual fluye la corriente de agua o se acumula el agua con sus sedimentos en condiciones de flujo de caudales o niveles sin que se llegue a producir desbordamiento de sus márgenes naturales.

La **Figura 74**, muestra el procedimiento para la determinación del cauce permanente.



**Figura 74.** Determinación del cauce permanente

**Fuente:** Tomado y modificado de Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS-. 2018. Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia. Bogotá D.C. 86 p.

PI Planificación Integral Consultores, 2019

## 6.1 Delimitación del cauce permanente en sistemas lóticos

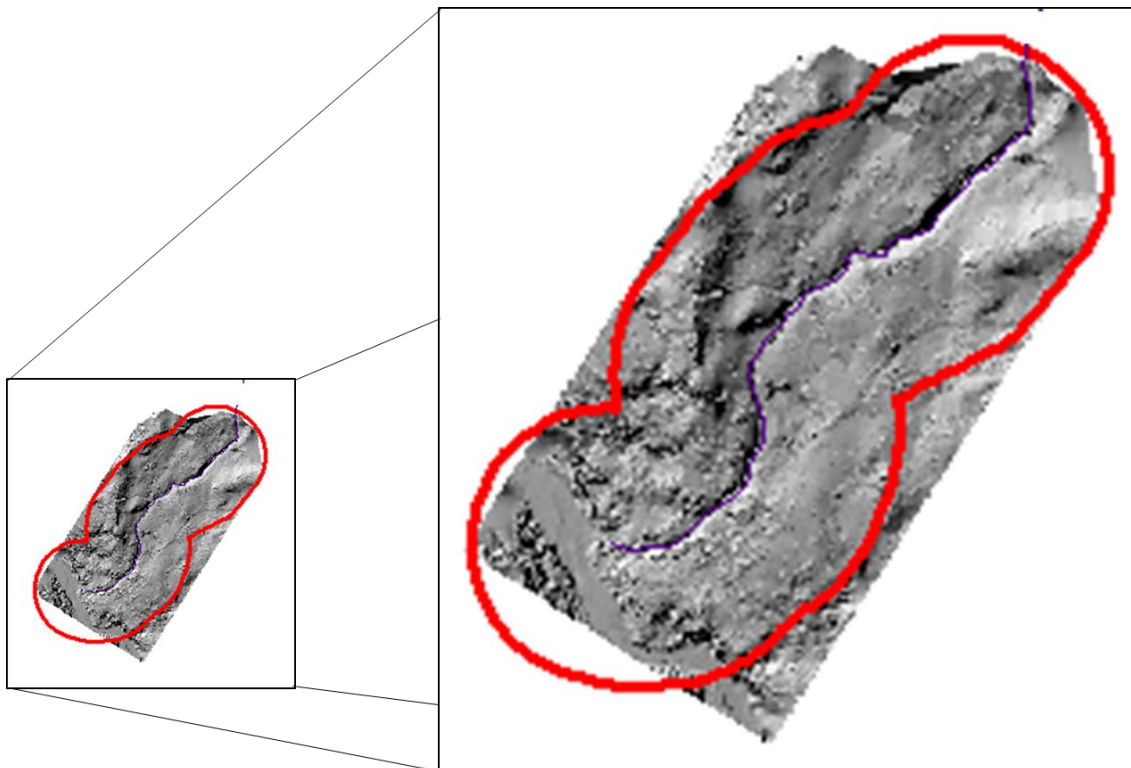
De acuerdo con el MADS (2018), la delimitación del cauce permanente se debe realizar tanto a escala 1:25.000 como a escala 1:2.000.

### 6.1.1 **Delimitación de las geoformas asociadas al cauce permanente, Escala 1:25.000**

De acuerdo con Carvajal (2012), la escala 1:25.000 solamente proporciona información relacionada con la subunidad geomorfológica; o sea, geoformas individuales genéticamente homogéneas que se generan por procesos constructivos o denudativos.

Por lo tanto, la delimitación con resolución de 12,5 m. x 12,5 m., de tamaño de pixel, NO aporta insumos valederos para la definición del cauce; ya que, a esta escala, el cauce permanente equivalente a una línea.

La **Figura 75**, muestra gráficamente el resultado del cauce permanente, a escala 1:25.000.



**Figura 75.** Cauce permanente a escala 1:25.000 (izquierda) y ampliación a escala 12.500 (derecha)

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 6.1.2 **Delimitación de las geoformas asociadas al cauce permanente, Escala 1:2.000**

Para este caso, la escala 1:2.000 muestra los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de ladera o flancos, crestas, formas de valle, entre otras) definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno. Igualmente, puede estar definida por micro relieves asociados con una característica litológica o sedimentaria establecida con base en análisis detallados.

Para llevar a cabo la identificación de las geoformas asociadas al cauce permanente a escala 1:2.000, se tuvieron en cuenta los siguientes insumos:

- Delimitación de las unidades de geomorfología (interpretación);
- Datos tomados durante la etapa de campo;
- Curvas de nivel;
- Patrón de drenaje;
- Modelo Digital de Sombras -MDS-;
- Ortofotos;
- Secciones transversales;

De igual manera, la **Tabla 44** presenta las características de los principales insumos que se tuvieron en cuenta para la interpretación geomorfológica del área de estudio.

**Tabla 44. Insumos para la interpretación multitemporal geomorfológica a escala 1:2.000**

INSUMO	PRODUCTO	AÑO	ESCALA
Curvas de nivel	Base cartográfica	2.019	1:2.000
Sensor remoto	Ortofotomosaicos - cámara fotogramétrica;		1:2.000
Modelo Digital de Sombras (MDS)	Modelo de elevación de terreno (ortométrico) procesado para ráster de sombras - LIDAR		1:2.000
Secciones transversales	Levantamiento topográfico		1:1.000
Sensor remoto	Ortofotomosaico; plancha 228; Resolución Espacial: 0,50 m Resolución Espectral: 3 Bandas	2.011	1:10.000
Ortofotomosaico 2007	Resolución Espacial: 15x15 m	2.007	1:30.000

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

#### - Delimitación del cauce permanente con información de campo - 2019

A partir tanto de la interpretación de las ortofotos como de las evidencias recabadas en el trabajo de campo; las geoformas asociadas al cauce permanente se establecieron a partir de indicadores morfológicos.

Inicialmente, durante la campaña de campo, se planificaron los recorridos con una dirección NE-SW, dado que las principales geoformas tienen este tren de orientación, aproximadamente.

Las evidencias asociadas a las unidades morfológicas, correspondieron a aquellas de origen fluvial, donde la pendiente, forma de sección, dinámica fluvial y procesos morfodinámicos asociados al cauce e intervenciones antrópicas; permitieron definir las geoformas asociadas al cauce permanente.

En cada estación o punto de control, se verificaron las unidades geomorfológicas asociadas al valle aluvial (Cauce activo, Barra inestable, Playa inestable).

Una vez verificadas y evidenciadas las unidades interpretadas y descritas en la leyenda del mapa preliminar, se procedió a efectuar la toma y recolección de la información relacionada con las características morfogenéticas, morfológicas, morfométricas y morfodinámicas (ancho del cauce, tipo de corriente, sitios y tipo de sedimentos, pendiente, geoformas, cauce principal, ancho de las márgenes naturales, evidencias del nivel de flujo, entre otras).

De acuerdo con lo mencionado, la **Tabla 45** presenta los puntos de control para la adquisición de las evidencias que se llevaron en terreno; con el fin de obtener la delimitación tanto del cauce permanente como de las geoformas que hacen parte del área de estudio.

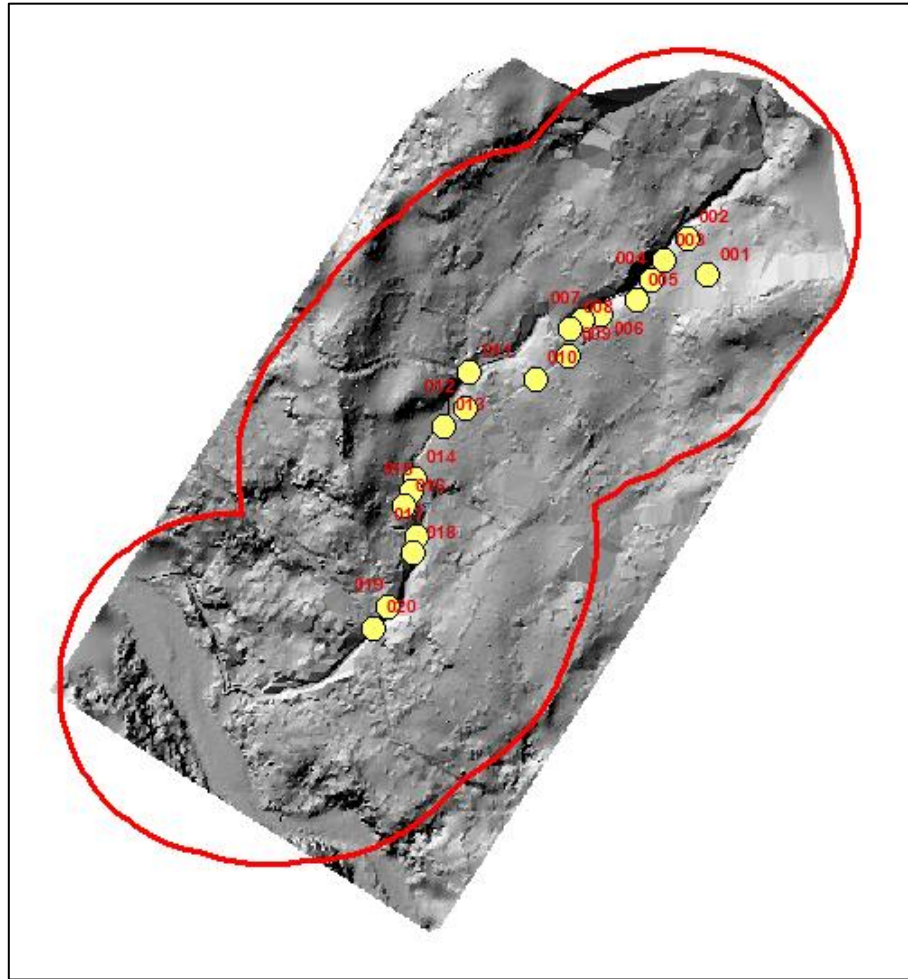
**Tabla 45. Puntos de control para la verificación del cauce permanente**

ETAPA	PUNTOS DE CONTROL COORDENADAS (MAGNA Colombia Bogotá)		
	ESTACIÓN	E	N
CARACTERIZACIÓN	1	1'049.933	1'024.098
	2	1'049.902	1'024.353
	3	1'049.868	1'024.319
	4	1'049.849	1'024.292
	5	1'049.828	1'024.261
	6	1'049.777	1'024.241
	7	1'049.749	1'024.235
	8	1'049.732	1'024.221
	9	1'049.729	1'024.182
	10	1'049.680	1'024.147
	11	1'049.584	1'024.156
	12	1'049.578	1'024.105
	13	1'049.546	1'024.077
	14	1'049.502	1'024.001
	15	1'049.498	1'023.983
	16	1'049.487	1'023.960
	17	1'049.506	1'023.916
	18	1'049.501	1'023.891
	19	1'049.463	1'023.813
	20	1'049.443	1'023.781



**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

De igual manera y acompañado a lo mencionado, la **Figura 76** muestra la distribución espacial de los puntos de control para la verificación del cauce permanente.



**Figura 76.** Verificación en terreno: puntos de control - etapa caracterización  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

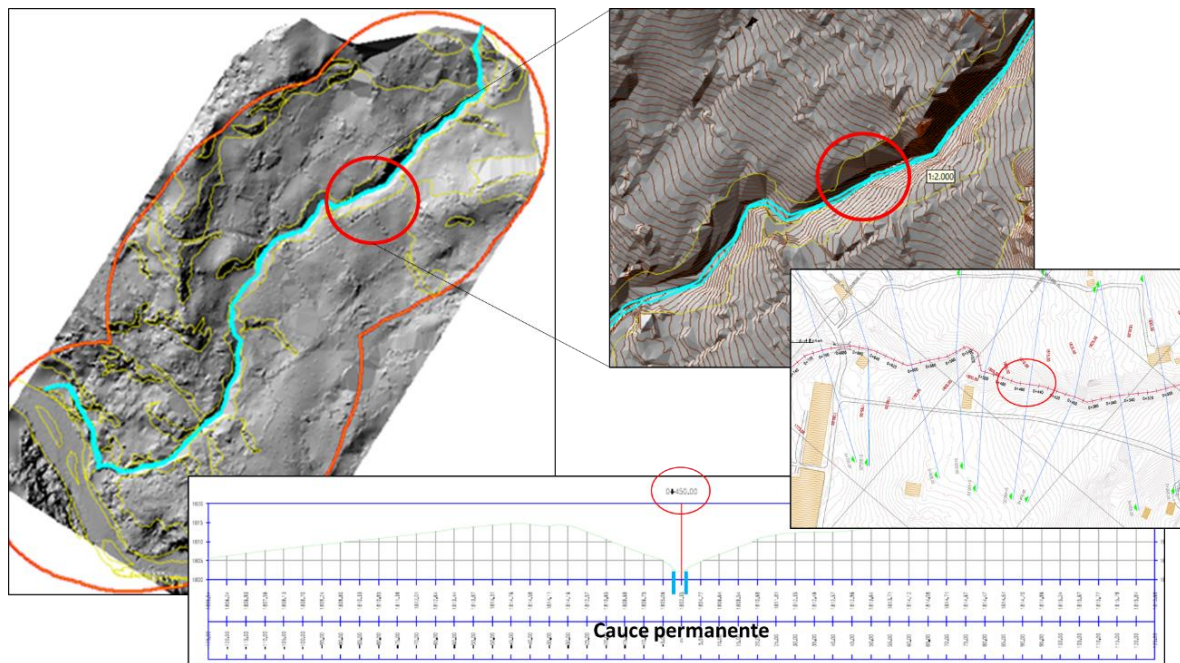
Los criterios de pendiente, forma de sección, dinámica fluvial, procesos morfodinámicos asociados al cauce e intervenciones antrópicas, permitieron evidenciar las **unidades morfológicas de origen fluvial**; junto con el recorrido de campo, permitieron definir las geoformas asociadas tanto al cauce permanente como las que hacen parte del área de estudio.

Es importante mencionar que, tanto para la delimitación del cauce permanente como para la verificación de las unidades geomorfológicas y el registro de las evidencias de la franja de la ronda hídrica, la cartografía temática fue "cargada" en el software **Avenza Maps**; esto permitió realizar las pertinentes observaciones y el registro fotográfico y de geoposicionamiento. De igual manera y además de la cinta métrica, algunos anchos de cauce se registraron con el software **CamMeasure**.

- **Delimitación del cauce permanente (Escala 1:2.000) a partir de la interpretación - 2019**

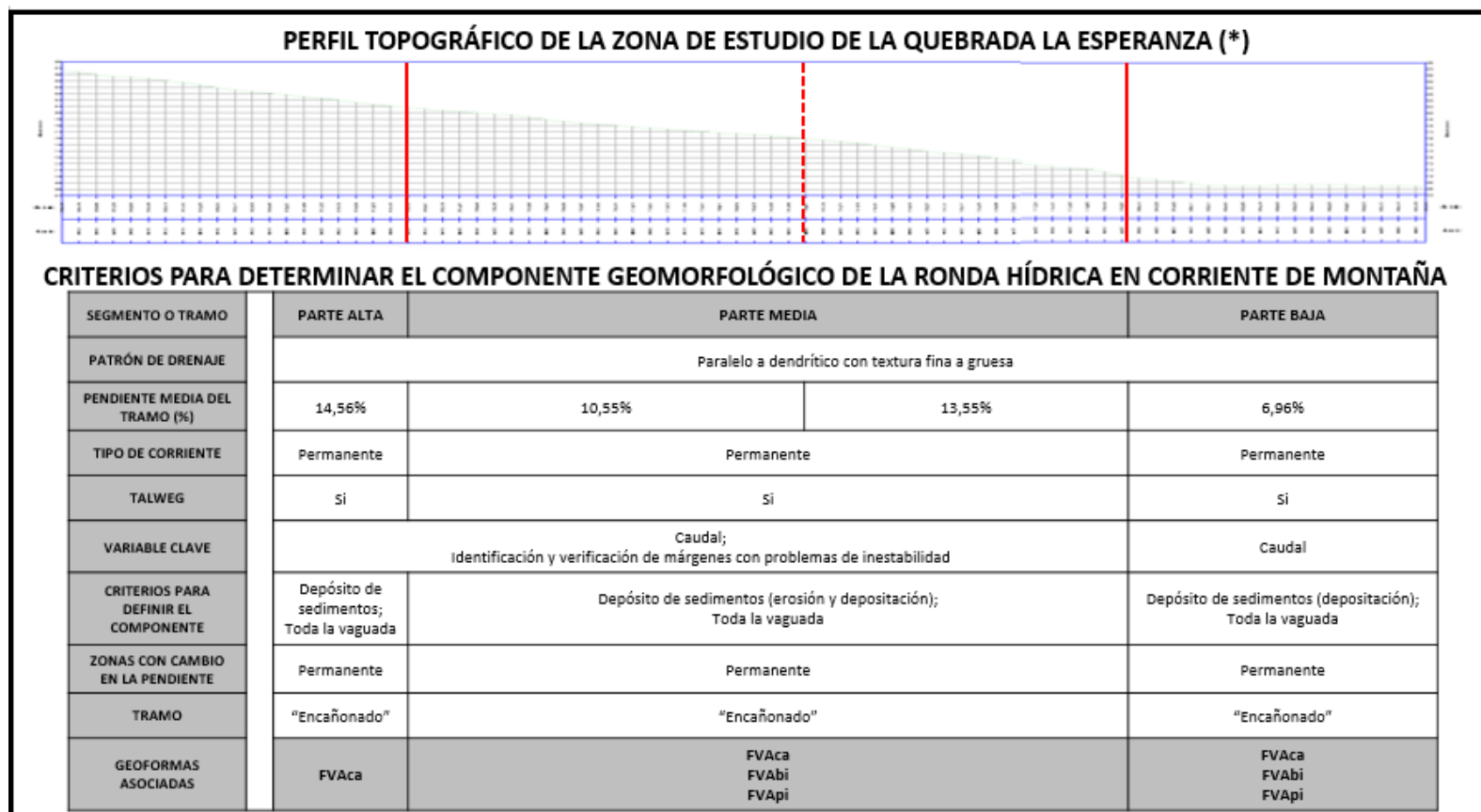
Con base tanto en la definición de cauce permanente como en la delimitación y verificación; se estima que las formas del terreno asociadas al cauce permanente, corresponde a las **unidades y subunidades** clasificadas dentro del ambiente de origen fluvial, tales como: **Cauce activo (FVAca), Barra inestable (FVAbi), Playa inestable (FVApi).**

La **Figura 77**, muestra la distribución espacial del cauce permanente para el área de estudio.



**Figura 77.** Distribución espacial del cauce permanente  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Con base en lo descrito anteriormente y teniendo en cuenta la importancia de la delimitación del cauce permanente para el componente de geomorfología; la **Figura 78**, presenta los segmentos o tramos en los cuales fue subdividido el cauce permanente y las geoformas asociadas a este.



**Figura 78.** Sectores de análisis y geoformas asociadas al cauce permanente

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

**NOTA (\*):** El perfil mostrado en la Figura 78, se encuentra a nivel de ilustración o representación; por lo tanto, para mayor detalle, se recomienda consultar el anexo del capítulo de topografía y batimetría presentados en la Fase 2, Fase 3 y Fase 4 del presente documento.

Por lo tanto y de acuerdo con lo mencionado; para mayor detalle, se recomienda consultar el mapa del cauce permanente 2019, presentado en el Anexo 4. Cartografía, el cual muestra la delimitación del cauce permanente a escala 1:2.000.

- **Delimitación del cauce permanente (Escala 1:2.000) a partir de la interpretación - 2011**

De acuerdo con el proceso de interpretación, a escala 1:2.000, que se realizó en ArcGIS 10.5 para el Ortofotomosaico del año 2.011, la **Figura 79**, muestra la distribución espacial del cauce permanente para el área de estudio.



**Figura 79.** Distribución espacial del cauce permanente para el año 2011  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Para este año, las formas del terreno asociadas al cauce permanente, corresponde a las unidades y subunidades clasificadas dentro del ambiente de origen fluvial; no obstante, para el presente caso, corresponde únicamente al **Cauce activo (FVAca)**.

Es importante mencionar que para el año 2.011 y de acuerdo con las características del Ortofotomosaico proporcionado por el IGAC; no se identificaron otras geoformas asociadas al interior del cauce permanente.

- **Delimitación del cauce permanente (Escala 1:2.000) a partir de la interpretación - 2007**

A partir de la interpretación realizada para la imagen del año 2007, se aprecia que para este año las formas del terreno asociadas al cauce permanente, corresponde a las unidades y subunidades clasificadas dentro del ambiente de origen fluvial; no obstante, para el presente caso, corresponde únicamente al **Cauce activo (FVAca)**.

De igual manera, para el año 2.007 y de acuerdo con las características del Ortofotomosaico proporcionado por la CORPOGUAUVO; no se identificaron otras geoformas asociadas al interior del cauce permanente.



**Figura 80.** Distribución espacial del cauce permanente para el año 2007  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Resultado de la delimitación del cauce permanente (Escala 1:2.000): 2007 - 2011 - 2019**

Con base en lo descrito y en la escala de trabajo 1:2.000, se aprecia que, a lo largo del tiempo, el cauce permanente de la quebrada La Esperanza no presenta diferencias significativas, (ver **Figura 81**).



**Figura 81.** Delimitación del Cauce permanente 2007 - 2011 - 2019 ampliación a urbanización La Esperanza

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Por lo tanto y como **resultado de la delimitación multitemporal** del componente geomorfológico, se concluye que el **Cauce activo (FVaca)** delimitado para la quebrada La Esperanza, no presenta diferencias significativas a lo largo de los periodos analizados; se ha mantenido constante a lo largo del tiempo y se considera que las diferencias en la delimitación del mismo, corresponde a la influencia de la cobertura vegetal (bosque de galería o ripario) sobre la interpretación del límite del contacto, ya que esta impide y no permite la identificación y la delimitación exacta del cauce permanente (**Figura 82**).



**Figura 82.** Resultado comparativo del cauce permanente (2007 - 2011 - 2019) <sup>1</sup>  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

<sup>1</sup> Si se desea observar un mayor detalle, consultar el anexo 4. Cartografía

Como resultado de la delimitación del cauce permanente, se considera que la baja movilidad o divagación lateral del cauce permanente (constante a lo largo del tiempo), se debe a la estratigrafía que se presenta en el área de estudio; los escarpes que dominan el paisaje, de manera general, se deben a la influencia de las múltiples estructuras anticlinales y sinclinales; ya sean estas, primarias o secundarias. Dentro de las primeras, el SGC (2008) las cartografía como el Sinclinal de Terama y el Sinclinal El Quince, que se encuentran en sentido SW-N. Dentro de las estructuras secundarias, predomina una serie de sinclinales y anticlinales cartografiados como de doble cabeceo, las cuales van en dirección SW-NE, la misma dirección de la quebrada La Esperanza.

Por lo tanto, se estima que la quebrada La Esperanza transita bajo un control geológico de origen estructural, lo que limita la divagación lateral de la quebrada; de ahí, la presencia del mismo cauce activo a lo largo del tiempo.

Junto a lo mencionado y como segundo aspecto a tener en cuenta, se considera que el cauce activo de la quebrada La Esperanza va "encañonada" y circula sobre **capas endurecidas y muy gruesas** a delgadas de limolitas, lodolitas y arcillolitas de color negro a gris oscuro, con laminación plano paralela o masivas, características de la Formación Fómeque; el SGC (2015), menciona que el espesor de esta capa puede estar alrededor de los 15m.

La **Figura 83**, muestra el tipo de material litológico sobre el cual cursa la quebrada La Esperanza.



**Figura 83.** Afloramiento de la Formación Fómeque en la quebrada La Esperanza

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Por lo tanto y como resultado de la delimitación multitemporal del componente geomorfológico, se concluye que el cauce no presenta opciones para modificar su curso y se encuentre limitado estructuralmente para presentar divagaciones laterales.

Finalmente y junto con lo mencionado, el material litológico que domina la zona de estudio, limita los procesos de socavación vertical y lateral (sofusión o desplomes), los cuales son los encargados de la ampliación del valle aluvial y, así mismo, la generación de la dinámica fluvial. La dureza del material que aflora, no permite una ampliación del cauce activo y los procesos morfodinámicos que se generan sobre el fondo del cauce o sobre los escarpes de terraza o los escarpes de glacis que se encuentran en contacto con el cauce activo, no son lo suficientemente activos para generar una diferencia significativa de carácter multitemporal.

Por otro lado, durante la interpretación del cauce permanente de la quebrada La Esperanza (2.007-2.011-2019), no se identificaron fuerzas o empujes que estén o que haya deformado el curso del cauce a lo largo del tiempo.

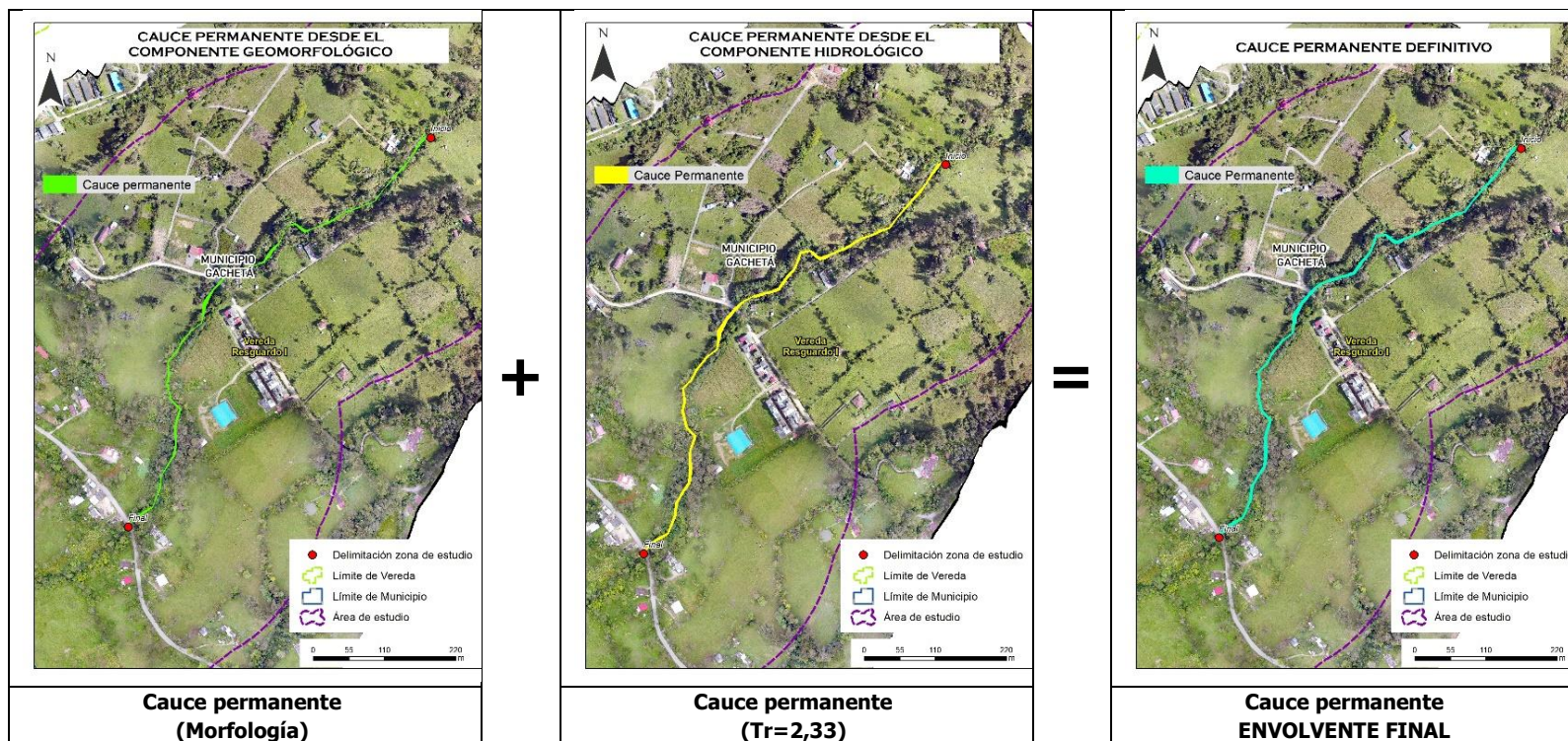
- **Delimitación del cauce permanente a partir del caudal promedio de los máximos anuales con un período de retorno de 2,33**

Junto a lo mencionado anteriormente, la definición del cauce permanente final se obtuvo a partir de la envolvente tanto de la morfología (numerales: 6.1.2.1; 6.1.2.2 y 6.1.2.3) como del cauce permanente obtenido a partir del caudal promedio de los máximos anuales con un  $Tr= 2,33$  (numerales: 5.5 y 5.6).

Lo anterior, se encuentra fundamentado en lo mencionado por MADS (2018), donde las relaciones mínimas de anchura/profundidad, existencia de escarpes característicos en las márgenes naturales del cuerpo de agua, cambios en la vegetación de las riberas o en la granulometría del lecho, o asociando un período de retorno al caudal formador, han permitido asociar el caudal promedio de los máximos anuales o eventos de crecientes ordinarias con un período de retorno cercano a los 2 años (si se considera que la serie de los caudales máximos anuales se puede representar con una función de distribución de probabilidad Gumbel, el período de retorno de este tipo de eventos es de 2,33 años).

Sin embargo, tal caudal formador es variable en función de las condiciones físicas de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje y en ocasiones también tienen cabida ciertos eventos influenciados por la variabilidad inter-anual.

A partir de lo mencionado y a manera de conclusión, la **Figura 84** presenta la envolvente final del cauce permanente obtenido a partir tanto de morfología como de los criterios del  $Tr=2,33$ .



**Figura 84. Envoltente final del cauce permanente (\*)**

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

**NOTA (\*):** La Envoltente final del cauce permanente mostrado en la Figura 84, se encuentra a nivel de ilustración o representación; por lo tanto, para mayor detalle, se recomienda consultar el anexo del capítulo de cartografía temática asociada al presente documento o en su defecto los archivos en formato shapefile generados para la cartografía temática.

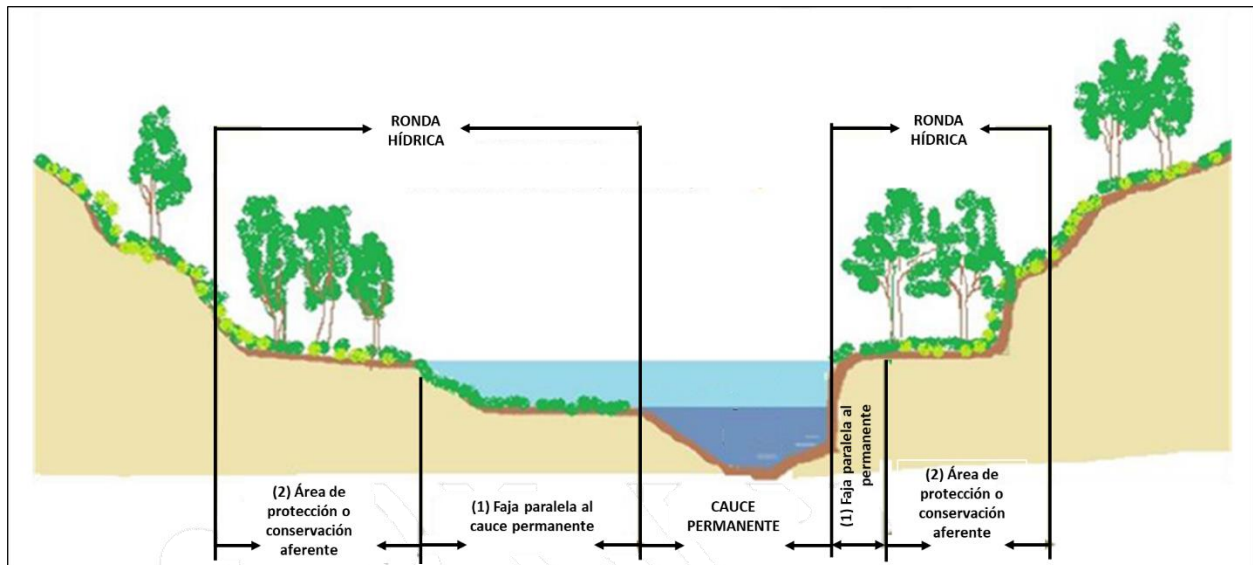
## FASE 7. DEFINICIÓN DEL LÍMITE FUNCIONAL DE LA RONDA

De acuerdo con lo mencionado por el MADS (2018), la ronda hídrica es conocida como zona riparia o ribereña, región de transición y de interacciones entre los medios terrestre y acuático, es decir, un ecotono. En tal sentido, son las franjas contiguas a los cuerpos de agua naturales continentales, estén en movimiento (ríos, quebradas, arroyos) o relativamente estancados (lagos, lagunas, pantanos, esteros), y el flujo sea continuo, periódico o eventual durante el año hidrológico.

Es así, que la ronda hídrica se define como las "zonas o franjas de terreno aledañas a los cuerpos de agua que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas propias de dichos cuerpos de agua".

Acompañado de lo mencionado anteriormente, el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011, complementa la definición de ronda hídrica, haciendo referencia a "...la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente...".

Por lo tanto y a partir de lo mencionado, la **Figura 85** muestra la ronda hídrica definida por el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011.

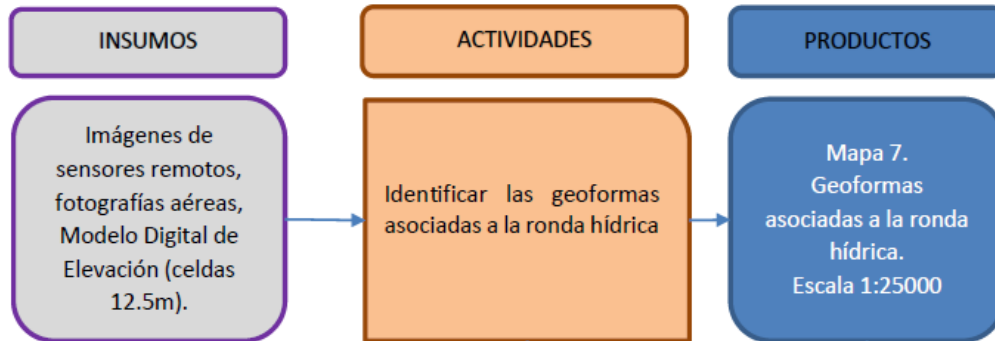


**Figura 85.** Ronda hídrica  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Con la finalidad de establecer el límite funcional de la ronda hídrica de la quebrada la esperanza, a continuación se desarrollan los componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico, donde este último se desarrolló considerando ocupación de cauce y uso de los recursos naturales presentes en el área de estudio. Posteriormente se desarrolla la caracterización de áreas homogéneas y se definen zonas de manejo en dicho límite.

## 7.1 Componente Geomorfológico de la Ronda Hídrica

Para la delimitación del componente geomorfológico, se requiere de una previa identificación de las geoformas asociadas al límite funcional, en la **Figura 86** se muestra el **procedimiento** propuesto por MADS (2018), para tal fin.



**Figura 86.** Insumos, actividades y productos para definir las geoformas asociadas a la ronda hídrica

**Fuente:** Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia, 2018.

De acuerdo con Carvajal (2012), la geomorfología es la ciencia que describe y estudia la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno y su relación con las estructuras que infra yacen.

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y corresponden a todos los cambios que ha sufrido la tierra desde sus comienzos, tanto aquellos originados en su interior (Geodinámica interna), como los generados en su superficie por la interacción con la hidrósfera, la atmósfera y la biósfera (Geodinámica externa).

Estos últimos (procesos exógenos), determinan cambios de la superficie terrestre que contribuyen al remodelado y reducción de los relieves primarios por la acción aislada o combinada de la meteorización física o química de las rocas, la erosión y transporte de los materiales resultantes y de los procesos de remoción en masa.

Estos procesos que destruyen o modifican las geoformas iniciales, son a la vez constructores de nuevas formas del terreno mediante la sedimentación o deposición de los materiales transportados, estableciéndose entonces un equilibrio denudación - acumulación, cuya estabilidad depende de la resistencia y tipo de roca o sedimento, y la acción y tiempo de duración de los agentes meteóricos propios de las condiciones climáticas prevaecientes (Carvajal, 2012).

Por lo tanto, este mismo autor, define que las geoformas son la expresión superficial del terreno, de la interacción dependiente de los materiales constituyentes de las mismas y su disposición estructural, de los procesos geomórficos que interactúan según el ambiente morfogenético específico donde se desarrollan, y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos; es así, que esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera.

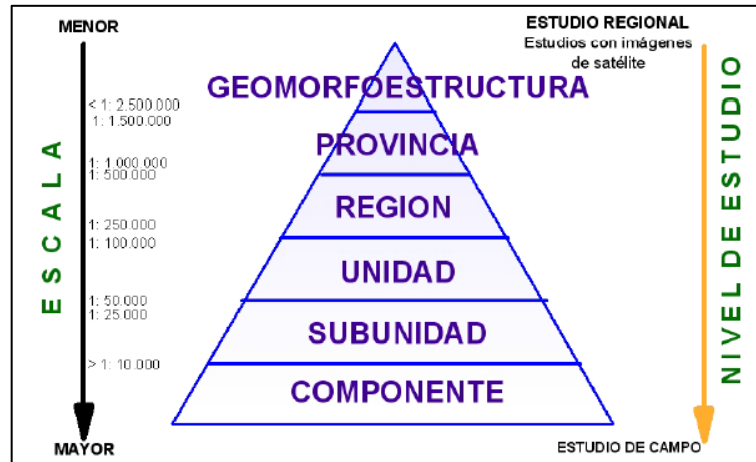
### 7.1.1 Metodología

Según el Servicio Geológico Colombiano -SGC- (2014), la cartografía geomorfológica, permite generar información sistemática sobre las formas del terreno, origen, tipos de materiales involucrados y procesos naturales tanto antiguos como activos que los afectan; con el fin de proporcionar el conocimiento del relieve en la cuenca de estudio.

De acuerdo con los objetivos del presente estudio y con lo mencionado por MADS (2018), la cartografía temática del componente geomorfológico, se representa en un mapa a escala 1:2.000 (área urbana y expansión urbana), la base estructurada dada por el Sistema de Información Geográfica -SIG-.

Para tal efecto, se siguieron los lineamientos y modificaciones establecidas por Carvajal (2012); donde, cada elemento cartográfico, está representado, por símbolos, convenciones y colores, definidos en la metodología mencionada y basada en la metodología del International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences -I.T.C.- propuesta por Verstappen, Herman Th. and A van Zuidam, Robert. (1991).

La **Figura 87**, plantea el enfoque del análisis geomorfológico propuesto Carvajal (2012); donde, el proceso analítico del terreno comprende desde lo regional hasta lo local, relacionando la escala aplicada con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos.



**Figura 87.** Esquema de jerarquización geomorfológica

**Fuente:** Carvajal, 2012

#### - Información secundaria

Inicialmente, el proceso metodológico se basó en la recopilación de la información secundaria necesaria para la interpretación del componente; ya fuera de tipo bibliográfico o cartográfico.

Para el caso de la revisión bibliográfica existente, se consultaron las bases documentales de los centros especializados, tales como el Servicio Geológico Colombiano -SGC-; Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-, y la Facultad de Geología de la Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá D.C.

Junto a lo mencionado, se consultaron, vía Web, los centros de documentación de aquellas entidades u organismos que indirectamente desarrollan el componente geomorfológico, tales como: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio de Medio Ambiente, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA-, y las Corporaciones Autónomas Regionales de CAR, CORPOGUAVIO, CORPORINOQUÍA, CORPOCHIVOR.

#### - Interpretación de las ortofotos

De acuerdo con lo mencionado en el numeral "1.1 Compilación de Información Cartográfica", se contó con el límite del área de estudio, cartografía base (curvas de nivel a escala 1:25.000), cartografía temática de geológica (escala 1:100.000), cartografía temática de estructuras geológicas (escala 1:100.000), cartografía temática del patrón de drenaje y cartografía temática de pendientes (escala 1:2.000). Además, se contó con los sensores remotos (Ortofotos); Modelo Digital de Sombras (DSM); y el Modelo Digital de Elevación (MDE) a escala 1:2.000.

Como ya se mencionó, la **Tabla 44** presenta las características de los principales insumos que se tuvieron en cuenta para la interpretación geomorfológica del área de estudio.

Seguidamente y a partir del análisis del MDE, se generaron variables geométricas (expuestas en la metodología aplicada), que en diversos casos apoyaron la sectorización de unidades homogéneas; variables que en un sistema de información geográfica son evaluadas para una mejor definición de las unidades geomorfológicas.

#### - **Generación del mapa preliminar de geomorfología**

La estructuración del mapa preliminar a escala 1:2.000, consistió en definir las unidades geomorfológicas que cumplieran con las características de forma, escala de mapeo (área mínima cartografiable) y descripción de la unidad. Esta fase, está fundamentada en la interpretación de los sensores remotos disponibles para el área de estudio (ortofotos), y de las variables nombradas anteriormente; diferenciando las geoformas por su origen (ambiente morfogenético) y las relaciones entre las mismas.

A partir de la interpretación temática y una vez definidas las unidades de geomorfología, se procedió a ajustar la geometría de las mismas a través del patrón de drenaje, base cartográfica y su correspondencia con el modelo de sombras.

Con base en lo mencionado, el procesamiento digital de la información temática, se realizó a partir del ArcGIS 10.5; el cual permitió realizar modificaciones de tipo espectral o espacial.

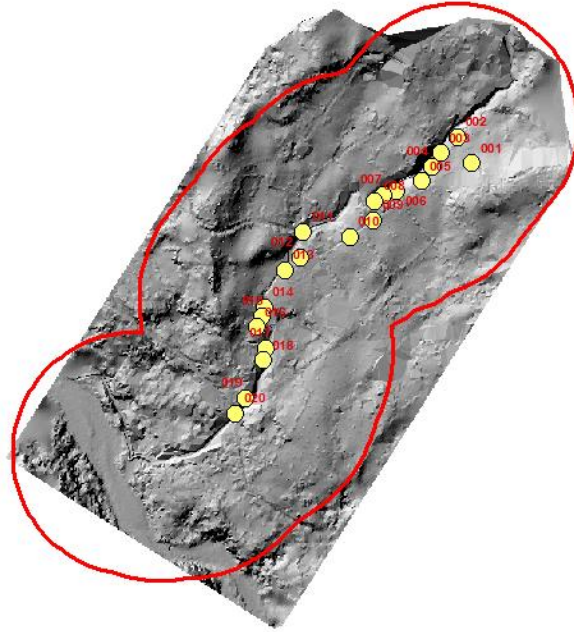
#### - **Tipos de morfología mediante recorridos de campo**

Una vez identificado lo anteriormente mencionado, en terreno se verificó la interpretación mediante la toma de datos morfométricos, datos litológicos y estructurales, que permitieron validar o modificar la información obtenida de las actividades llevadas a cabo en oficina.

La **Tabla 46**, presenta los puntos de control o estaciones de campo que sirvieron para la verificación de los tipos de morfología que hacen parte del área de estudio (Ver: numeral 5.8.2.1).

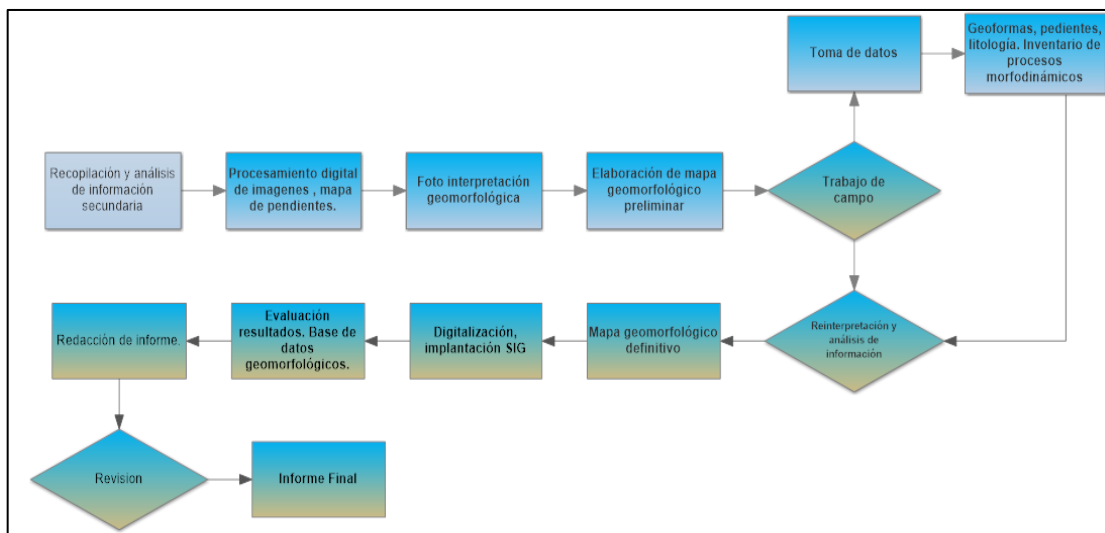
**Tabla 46.** Puntos de control para la verificación en terreno de los diferentes tipos de morfología

ETAPA	PUNTOS DE CONTROL COORDENADAS (MAGNA_Colombia_Bogotá)		
	ESTACIÓN	E	N
CARACTERIZACIÓN	1	1049933	1024098
	2	1049902	1024353
	3	1049868	1024319
	4	1049849	1024292
	5	1049828	1024261
	6	1049777	1024241
	7	1049749	1024235
	8	1049732	1024221
	9	1049729	1024182
	10	1049680	1024147
	11	1049584	1024156
	12	1049578	1024105
	13	1049546	1024077
	14	1049502	1024001
	15	1049498	1023983
	16	1049487	1023960
	17	1049506	1023916
	18	1049501	1023891
	19	1049463	1023813
	20	1049443	1023781



Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

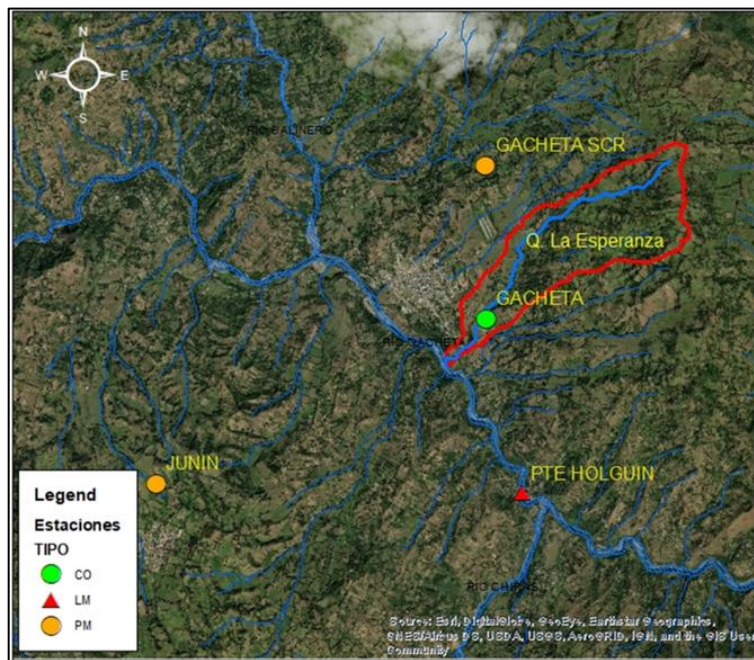
Los hallazgos obtenidos en cada uno de los puntos de control, permitieron ajustar los contactos de los polígonos trazados durante la etapa de interpretación. Este ajuste, dio paso a la obtención de la cartografía temática final. Por otra parte, la **Figura 88** presenta el proceso metodológico seguido para la elaboración del mapa geomorfológico.



**Figura 88.** Flujograma del proceso metodológico seguido para la elaboración del mapa geomorfológico  
**Fuente:** Carvajal (2012)

### 7.1.2 Condiciones del patrón de drenaje del área de estudio

Con base tanto en la interpretación de las ortofotos como en la revisión de la información secundaria y reconocimiento de campo, los tributarios del cauce principal, presentan un patrón de drenaje de tipo paralelo con textura media a gruesa. La **Figura 89**, presenta la forma como se aprecia la red de drenaje en el área de estudio.



**Figura 89.** Forma del patrón de drenaje  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Este patrón, se desarrolla sobre superficies homogéneas, suaves, uniformemente inclinadas, cuyas corrientes colectoras principales pueden indicar una falla o fractura; sobre litología con baja permeabilidad, baja cobertura vegetal, pendientes moderadas y zona con control estructural.

### 7.1.3 Condiciones geomorfológicas del área de estudio

Como ya se describió, el área de estudio, se localiza al oriente del casco urbano del municipio de Gachetá; donde, la quebrada La Esperanza transita en sentido de noreste - suroeste, hasta desembocar en el río Guavio, a la altura de la vereda Resguardo I y San Rafael.

El área de estudio de la quebrada La Esperanza, se desarrolla sobre los Ambientes de origen Estructural (S); Denudacional (D) y Fluvial (F), de la vertiente oriental de la cordillera Oriental del Sistema orogénico andino.

El relieve es montañoso; con superficies inclinadas a escarpadas y cortas a muy largas; de forma cóncavas o convexas, dependiendo del ambiente morfogenético. El gradiente altitudinal, oscila entre los intervalos de 708 y 1.868 m.s.n.m.

#### - **Evolución geomorfológica**

Flórez (2003), menciona que durante el Terciario inferior, los relieves emergidos correspondían con partes del escudo guayanés, parte de los macizos del terreno Chibcha y del Tahamí y parte de la proto cordillera Occidental. Lo demás continuaba cubierto por el mar, lo que implicó una cobertura sedimentaria del Terciario medio en la Orinoquia-Amazonia, parte de la proto cordillera Oriental y las depresiones del Magdalena-Cesar, Cauca-Patía y Atrato-San Juan-Tumaco y el sector noroccidental de Córdoba, Cesar, Atlántico, Magdalena y parte de la Guajira.

Este mismo autor, alude que el levantamiento andino está, desde luego, asociado con los eventos acrecionales de los terrenos por el occidente, eventos resultantes de la colisión entre placas (Nazca y suramericana y en menor medida la del Caribe) con compresiones que repercutían en todo el sistema andino.

Al final del Cretáceo (Senomaniano), los Andes experimentaron movimientos epirogénicos amplios. En el contacto Cretáceo-Terciario (Maestrichtiano), por el contrario, hubo una fase transgresiva, lo que generó una cobertura sedimentaria marina más o menos continua sobre la región andina. Posteriormente, al final del Maestrichtiano hubo un leve levantamiento y emergieron ligeramente los relieves cordilleranos, pero las áreas laterales e interandinas seguían cubiertas por el mar. Seguidamente, al inicio del Terciario (Paleoceno) ocurrió una fase compresiva con levantamiento leve especialmente en la cordillera Oriental y con una consecuente regresión marina, excepto en las partes bajas (Flórez, 2003).

Flórez (2003), menciona que esta fase de extensión permitió la cobertura sedimentaria del centro de la Cordillera Oriental causó una flexión con depresión del borde occidental del escudo guayanés. Esto favoreció la sedimentación cretácea y terciaria en la cuenca de los Llanos y Caquetá-Putumayo.

Las cordilleras fueron los bloques más levantados en la orogenia, pero las depresiones laterales e interandinas también fueron levantadas, sólo que en menor proporción; en general, hasta menos de 700 m. Esto implicó una regresión marina y la instalación en ellas de sistemas aluviales (ríos, ciénagas, pantanos) donde antes existían mares interiores (Cauca-Patía, Magdalena-Cesar, Atrato-San Juan) y en las depresiones laterales (llanuras costeras y Orinoquia-Amazonia). Todos estos

espacios con depresiones se convirtieron en áreas inundables en relación con los sistemas fluviales y receptores de sedimentos, en oposición a las cordilleras.

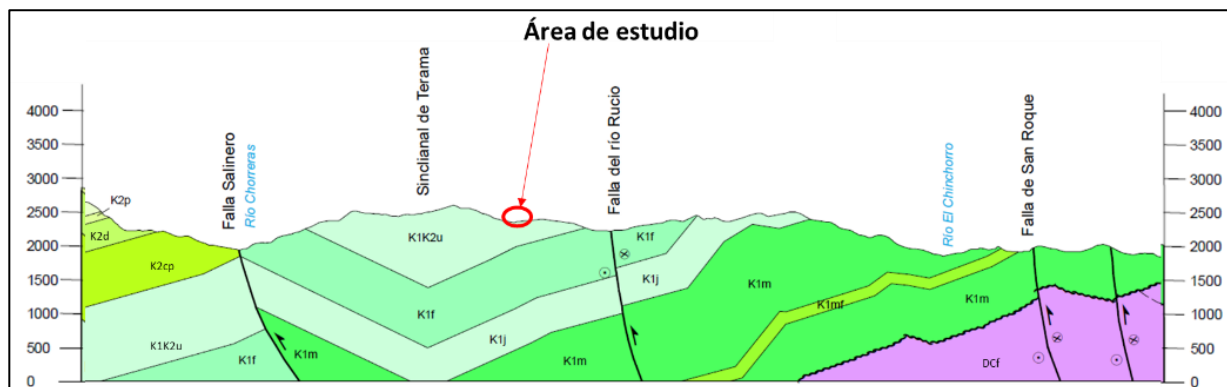
Es decir, por compresión, la cordillera Oriental cabalgó hacia el occidente sobre la depresión del Magdalena, y que la cordillera Central hizo lo propio hacia el oriente.

Por lo tanto, desde el punto de vista orogénico, las consecuencias son variadas y van desde los resultados puramente estructurales (relieves), hasta los cambios bioclimáticos y a la generación de un potencial hidro gravitatorio, que modelarían el relieve; tanto para el área de estudio como para toda la cordillera Oriental.

Flórez (2003), menciona que un hecho especialmente importante en las cordilleras Oriental y Centro-Occidental fue la formación en la parte media (arriba de 2.000 m) de depresiones amplias con origen en amplios pliegues o en cuencas de tracción y que fueron ocupados por lagos durante el levantamiento o parte de él y que formaron los altiplanos.

IDEAM (2010), describe que la orientación N-NE y NE de las divisorias se relaciona con la dirección de los ejes de plegamiento de las rocas sedimentarias. Así, las divisorias corresponden, en general, con crestas de sinclinales o anticlinales y los ríos se alojan en las formas de relieve con depresiones como fondos de sinclinales, combas (anticlinales erodados) y en algunos casos a lo largo de líneas de falla, que pueden coincidir con los anteriores.

La **Figura 90**, muestra el control estructural de la zona de estudio, que en gran medida comprueba la distribución de los cuerpos de agua, la pendiente, la ocurrencia de las formaciones superficiales y los procesos morfogénicos. Lo anterior, genera un modelado de disección profunda con control estructural y de vertientes alternas corta y larga.



**Figura 90.** Control estructural de la zona de estudio  
**Fuente:** INGEOMINAS, 2008

## - Morfoestructura

Desde el punto de vista morfoestructural, el marco regional tectónico del NW de América del Sur es controlado por la compleja interacción entre las placas Caribe, Nazca y Sudamérica, así como la influencia del bloque Baudó-Panamá. La indentación (colisión de bloques continentales-tectónica) hacia el oriente producida por este último bloque durante el Mioceno tardío, es la responsable de la fuerza que generó la inversión de las cuencas del rift del Mesozoico.

El área de estudio, se encuentra ubicada en un sector tectónicamente complejo que se caracteriza por la presencia de sinclinales asimétricos amplios y extensos, en contraste con anticlinales pequeños apretados. Los pliegues se encuentran limitados por fallas inversas orientadas en sentido SW-NE, con planos inclinados preferencialmente hacia el oriente con ángulos estimados entre 30° y 45°.

Con base en lo descrito anteriormente, el área de estudio se localiza sobre la Formación Fómeque. La morfología de la unidad es relativamente suave, entre los escarpes que generan la infrayacente Formación Las Juntas y la suprayacente Formación Une. La afectan múltiples estructuras anticlinales y sinclinales entre las que se destacan el sinclinal de Terama y sinclinal El Quince.

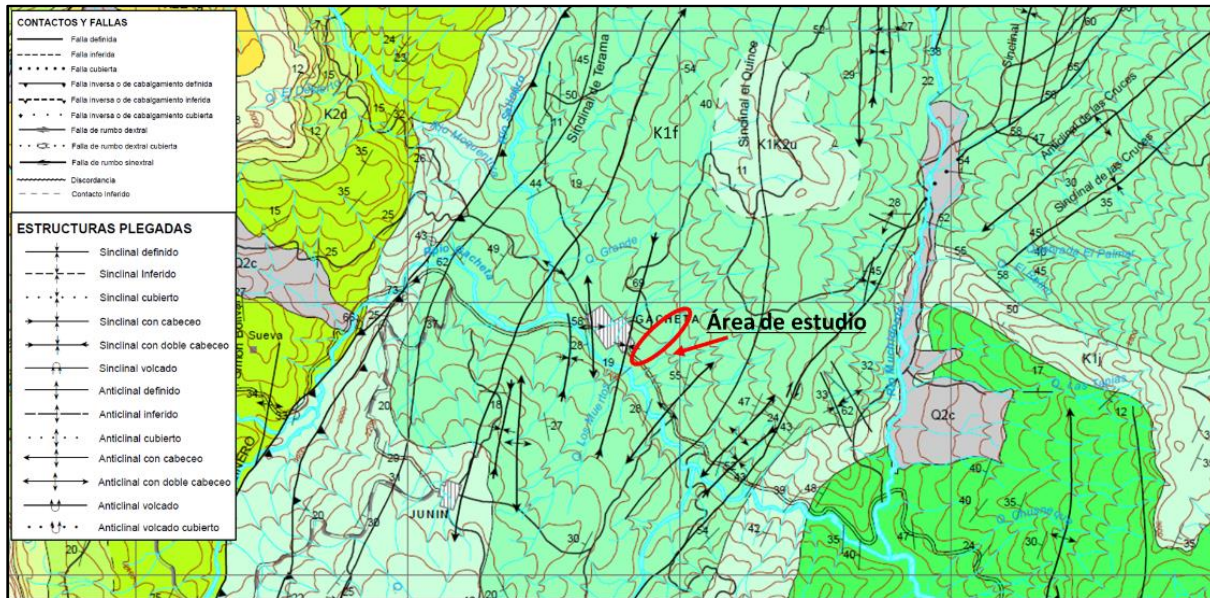
Donde el SGC (2015) describe esta última, como una estructura abierta y horizontal, alcanza una longitud de 22 km, y continúa hacia el norte, por fuera del área de estudio. En el núcleo del sinclinal, afloran parches de la Formación Une y en los flancos rocas de la Formación Fómeque.

El Sinclinal El Quince, muestra una dirección del eje variable desde N-S hasta N35°E.

Entre el sinclinal de Terama y sinclinal El Quince, se encuentra una serie de estructuras, las cuales no han sido caracterizadas por el SGC.

Por lo tanto y con base en lo mencionado anteriormente, la evolución morfoestructural de la quebrada La Esperanza, está directamente relacionada con los eventos que dieron con la formación de la Cordillera Oriental, cuyo inicio se remonta a la mitad de la era Terciaria (transición Oligoceno -Mioceno), cuando aconteció el gran levantamiento que estuvo acompañado de plegamientos y fallamientos que continuaron hasta el Plioceno, produciéndose la erosión de los materiales terciarios en la Cordillera y su correspondiente transporte y depositación en la planicie de la Orinoquia.

La **Figura 91**, muestra las estructuras que de una u otra manera controlan el curso de la quebrada La Esperanza.



**Figura 91.** Morfoestructuras de la zona de estudio

**Fuente:** Plancha 228. SGC (2008).

#### - **Morfodinámica**

La morfodinámica, es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o unidades de terreno. Consiste en determinar el tipo de proceso y su intensidad en la conformación de las geoformas (procesos erosivos y movimientos de remoción en masa) (Robertson, 2013).

##### o Procesos erosivos

Corresponde a las diversas formas de cómo los agentes móviles (agua, vientos, glaciares, etc.), desprenden y transportan los productos de la meteorización y de la sedimentación (Villota, 2005).

El transporte de dichas partículas, se presenta en forma de erosión geológica; erosión acelerada (antrópica); erosión por escurrimiento (laminar, en surcos y en cárcavas); erosión fluvial; erosión eólica o erosión diferencial.

En el área de estudio, se identificaron procesos erosivos activos, encaminados a la presencia tanto de la erosión laminar como la erosión en surcos.

- *Erosión laminar*

Corresponde a la remoción uniforme de una lámina delgada de suelo de una superficie inclinada, sin que se formen claramente canales de desagüe. Por lo general, se detecta cuando el horizonte A del suelo es removido totalmente, aflorando el horizonte B o el C.

- *Erosión en surcos*

Se desarrolla a partir de la erosión laminar; la remoción del suelo ocurre en mayor cantidad a lo largo de pequeños canales.

La **Figura 92**, muestra el tipo de erosión laminar que hace parte del área de estudio.



**Figura 92.** Erosión laminar y en surcos  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Es importante mencionar que debido a la baja densidad de los procesos erosivos por unidad de área y a la magnitud de los mismos, estos procesos erosivos no son posible cartografiarlos, de acuerdo a la escala de estudio.

De otro lado, al interior del área de estudio de la quebrada La Esperanza, no se presentan procesos erosivos avanzados (cárcavas) o tierras denominadas "malpaís", donde la densidad de cárcavas por unidad de área es alta.

- Procesos movimientos en masa

Hace referencia a todo movimiento ladera abajo del material de una pendiente bajo la influencia de la gravedad, usualmente lubricado por agua (lluvia, agua subterránea, deshielo). El movimiento puede ser muy lento, lento o rápido.

Al interior del área de estudio y sobre las laderas del glacis de erosión se identificaron "terraceos o pate vaca", las cuales son clasificadas como un tipo de flujo de suelo en estado plástico.

Además, en el valle aluvial se identificaron desplomes provocados por la socavación lateral de las aguas de la quebrada La Esperanza.

- *Terraceo o pate vaca*

Este movimiento del terreno, se define como un desplazamiento lento a rápido; donde actúa la gravedad, el agua del suelo y las sobrecargas o presiones externas. El suelo se comporta como un flujo en estado plástico (Villota, 2005).

A partir de estas sobrecargas (ganadería), el suelo se deforma presentando las "terracetas" o "pate vaca". Este proceso, conlleva a un desgarramiento de la parte alta de los suelos de la ladera, lo que genera un deslizamiento y, posteriormente, la generación de procesos erosivos, tales como surcos y cárcavas.

La **Figura 93**, muestra el tipo de proceso de terraceo o pate vaca que hace parte del área de estudio.



**Figura 93. Procesos de terraceo o pate vaca**  
Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Finalmente, no se identificaron movimientos en masa relacionados con la reptación o grandes deslizamientos activos que fueran cartografiables.

- *Socavación y desplomes*

Corresponde a los procesos asociados a la dinámica fluvial, la cual genera fuerzas laterales sobre los taludes de las márgenes o riberas. Generalmente, se presenta si la pendiente de las márgenes es vertical a subverticales (escarpes de terraza); en donde, la caída del material de suelo es libre, o sea sin contacto con la superficie que hace parte del talud. Es importante mencionar, que por escala estos procesos no son cartografiados; son de carácter leves y muy puntuales a lo largo del cauce de la quebrada La Esperanza.

La **Figura 94**, muestra el tipo de proceso de socavación y desplomes que hace parte del área de estudio.



**Figura 94.** Socavación y desplomes en la quebrada la esperanza  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

De otro lado y aunque no son procesos erosivos o de remoción en masa, en la zona de estudio de la quebrada La Esperanza, se presentan obras de drenaje debido a la alta saturación de los suelos. De alguna u otra manera, este contenido de humedad más la combinación de las sobrecargas producida por la ganadería extensiva, se puede volver detonante para la generación de procesos de remoción en masa más regionales (ver **Figura 95**).

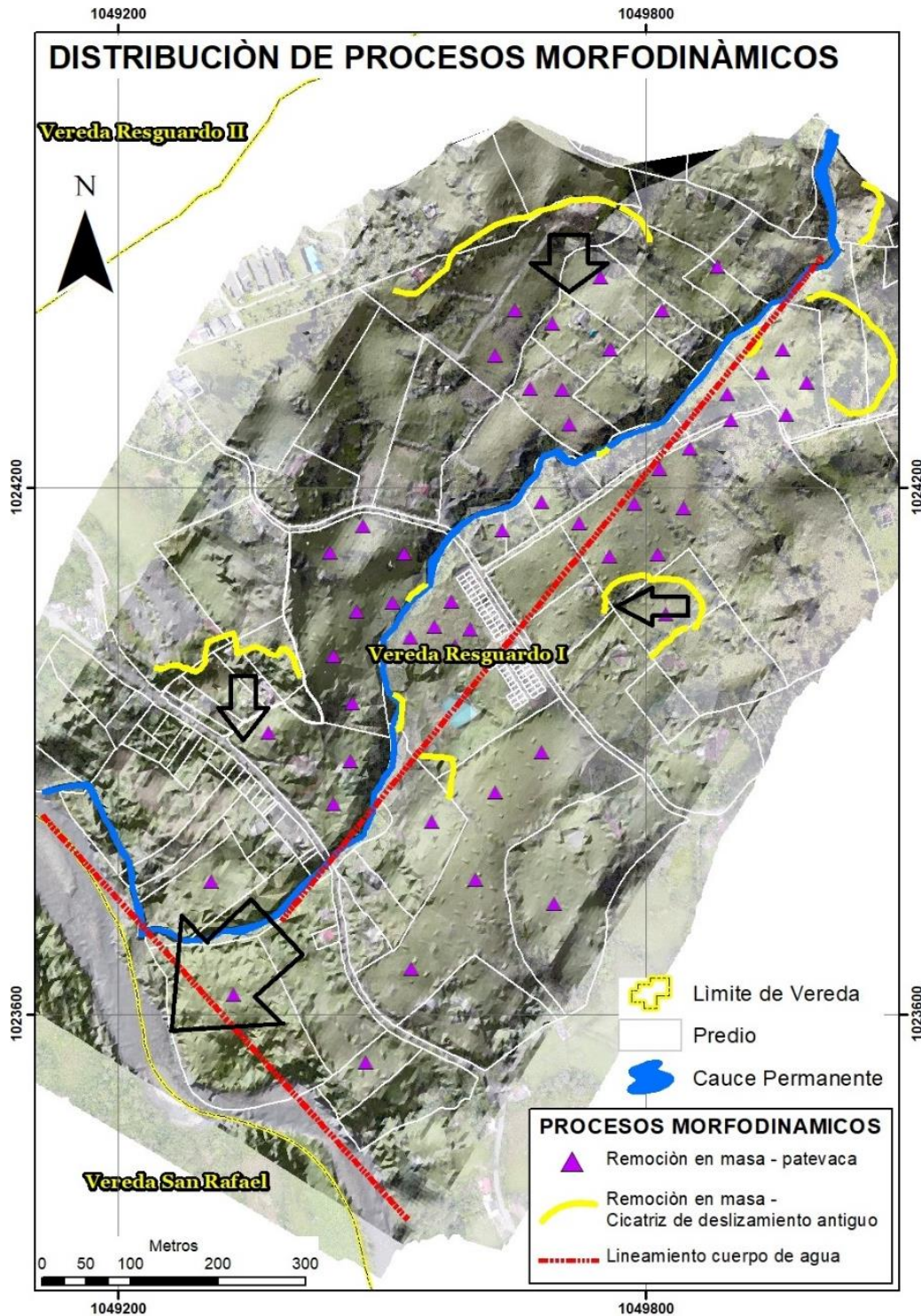


**Figura 95.** Zanjas de desagüe en la quebrada la esperanza

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Junto a lo mencionado anteriormente, se estima que la zona de estudio de la quebrada La Esperanza, estuvo sujeta a varios pulsos regionales de movimientos en masa; donde, se evidencia que el curso de la quebrada La Esperanza se ha recostado en diferentes ocasiones debido a los empujes causados por los movimientos.

Por ende, en la **Figura 96** se muestra la tendencia de los cambios de curso a que ha estado sujeta la quebrada La Esperanza por acción de los movimientos en masa de carácter regional. Por lo tanto y de acuerdo con lo mencionado, para mayor detalle se recomienda consultar el Mapa de dinámica de procesos morfodinámicos, presentado en el Anexo 4. Cartografía, el cual muestra la distribución de los procesos morfodinámicos a escala 1:2.000.



**Figura 96.** Dinámica regional de antiguos movimiento en masa

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

#### **7.1.4 Jerarquización geomorfológica**

Como se mencionó anteriormente, para la realización sistemática del levantamiento y jerarquización geomorfológica, se tuvo en cuenta la metodología y nomenclatura planteada en la "Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia", publicada por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2012.

A partir de la escala de trabajo, la definición de las categorías geomorfológicas, permitió el análisis sistemático de la evolución geomorfológica del área de estudio. Esta concepción, es igualmente necesaria con el fin de enfocar el pensamiento, hacia el análisis de las geoformas de manera sistémica y coherente, con las operaciones funcionales de almacenamiento, consulta, análisis, generación y generalización de información cartográfica de los Sistemas de Información Geográfica -SIG- (Carvajal, 2012).

Para definir las diferentes unidades geomorfológicas, fue necesario clasificar y definir cada unidad de acuerdo con las características homogéneas, tales como relieve, litología y ambientes morfogenéticos. El resultado, fue un mapa geomorfológico en el cual se pueden apreciar los diferentes ambientes geomorfológicos que dan lugar a las diferentes unidades geomorfológicas; para diferenciar entre los dos ambientes morfogenéticos se utilizaron los colores propuestos por Carvajal (2012).

A continuación, se describen las características geomorfológicas que hacen parte del área de estudio, enmarcadas dentro de los conceptos de morfoestructura, morfogénesis, morfometría y morfodinámica.

##### **- Geomorfoestructura**

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intra continentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea.

El área de estudio, se encuentra incluida dentro del Sistema de Cordillera/Orógeno Andino (Levantamiento de la cordillera Oriental).

##### **- Provincia geomorfológica**

Corresponde a un conjunto de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente se relacionan con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia los cuales están delimitados por el trazo de megafracturas y suturas definidas o inferidas (Carvajal, 2012).

El área de estudio, se encuentra incluida dentro de la Provincia Geomofológica de la cordillera Oriental.

- **Región geomorfológica (Ambiente morfogenético)**

Es la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente. Están definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomórficos parecidos. El ambiente morfogenético, hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas (Carvajal, 2012).

Según este mismo autor, se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados (origen tanto endógeno como exógeno), que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas.

De manera general, los ambientes morfogenéticos se agrupan de la siguiente manera: Denudacional: D; Fluvial y lagunar: F; Estructural: S; Glacial: G; Volcánico: V; Kárstico: K; Marino y costero: M; Eólico: E; Antropogénico: A.

Para el área de estudio, se determinaron dos (2) ambientes morfogenéticos o regiones geomorfológicas:

➤ Ambiente de origen denudacional (D):

Determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente producto de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, sobre geoformas pre existentes.

➤ Ambiente de origen fluvial (F):

Corresponde a las geoformas generadas por procesos (erosión – sedimentación), generadas por corrientes de agua tales como caños, arroyos, ríos, lagos o lagunas.

➤ Unidad, subunidad y componente geomorfológico

Esta categoría, se propone como la unidad básica de la cartografía geomorfológica. El término unidad geomorfológica, se define como una geoforma individual genéticamente homogénea; mientras que la subunidad, es una subdivisión de la unidad geomorfológica. Esta última, se encuentra determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de éstos con la correspondiente topografía del terreno.

Por último, el componente o elemento geomorfológico está establecido por los rasgos del relieve determinados por la morfometría detallada del terreno (Formas de ladera, escarpes estructurales, pendientes anómalas, perfiles de suelos residuales o remanentes, escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas del valle) (Carvajal, 2012).

Este mismo concepto, lo sustenta Robertson y Otros (2013), en donde menciona que el componente o elemento geomorfológico corresponde al máximo nivel de detalle asociado a escarpes o cambios de pendiente (Taludes, orillares, escarpes de falla).

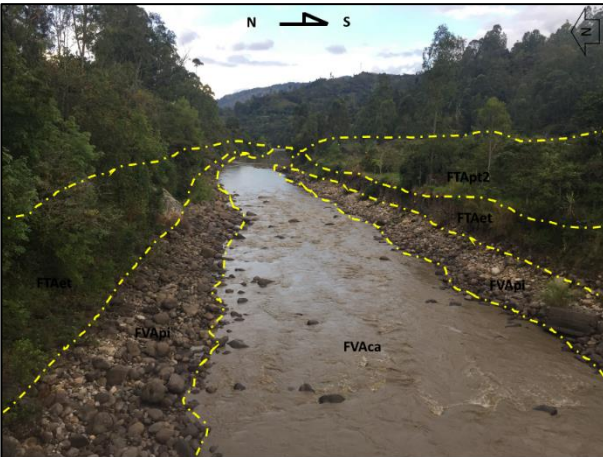
Por lo tanto y de acuerdo con lo mencionado en el numeral 7.1.1, la **Tabla 47**, presenta las unidades, subunidades y componentes geomorfológicos, obtenidos tanto en la etapa de interpretación a escala 1:2.000 como en la etapa de comprobación y verificación en campo; las cuales han sido organizadas y estructuradas bajo la base de un Sistema de Información Geográfica -SIG-; de acuerdo con el orden de la jerarquización propuesta por Carvajal (2012).

**Tabla 47.** Unidades, subunidades y componentes geomorfológicos del área de estudio

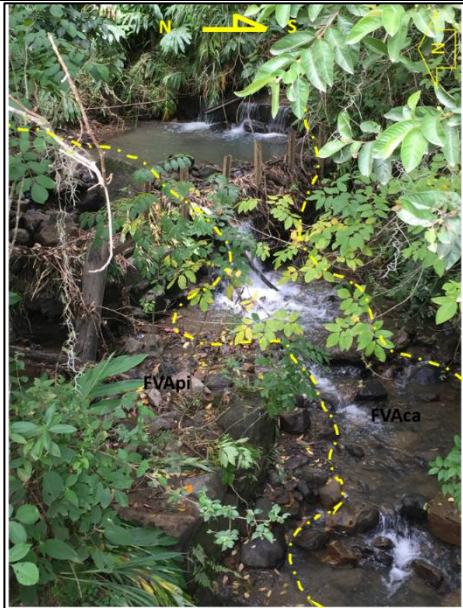
UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	FOTOGRAFÍA
Colina residual	Cima denudada	Corresponde a una elevación de poca altura (<300 m.) con circunferencia basal alargada, cima redondeada y drenaje escurre en dos vertientes. Las laderas, son de longitud muy corta y de forma cóncava e irregular.	DCRcd	 <p>Coordenadas: 1'049.729 mE; 1'024.182 mN</p>
	Ladera denudada	Corresponde a la superficie inclinada a escarpada con longitud corta a moderada, puede ser plana, cóncava o convexa; por lo general, de forma irregular. Compuesta por arcillolitas oscuras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología.	DCRld	 <p>Coordenadas: 1'049.961 mE; 1'024.199 mN</p>

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	FOTOGRAFÍA
	Escarpe de colina	<p>Corresponde a las geoformas de origen denudacional, donde la parte terminal de la ladera presenta una pendiente abrupta con alturas variables, la longitud muy corta a corta, de forma irregular y convexa.</p> <p>Por lo general, está compuesta por arcillolitas oscuras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología.</p>	DCRec	 <p>Coordenadas: 1049546 mE; 1024077 mN</p>
Glacís de erosión	Ladera de glacís	<p>Corresponde al plano ligeramente inclinado y bastante uniforme, que corresponde a una superficie de acumulación o resultado de un aplanamiento local cualquier sea la naturaleza de las rocas truncadas. El perfil longitudinal es largo, rectilíneo a ligeramente convexo.</p>	DGEIg	 <p>Coordenadas: 1'0490729. mE; 1'024.182 mN</p>

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	FOTOGRAFÍA
	Escarpe de glacís	<p>Corresponde a la parte final de la ladera de glacís, donde la pendiente es abrupta o a desplome con alturas variables, longitud muy corta a corta, cóncava, convexa o recta, originada por procesos de erosión o movimientos en masa.</p>	DGEeg	 <p>Coordenadas: 1'049.777 mE; 1'024.241 mN</p>
Terraza de acumulación	Plano de terraza nivel 1	<p>Corresponde a las geoformas de pendiente ligeramente plana a ligeramente ondulada, de extensión muy corta y plana y configuración estrecha. Su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial.</p> <p>Están constituidas por materiales clásticos gruesos como: gravas o arenas y en menor proporción limos y arcillas, la disminución del tamaño de grano varía a lo largo del curso de la quebrada y lateralmente a medida que se aleja del cauce activo actual.</p> <p>Particularmente, los planos de terrazas son remanentes de anteriores niveles de</p>	FTApt1	 <p>Coordenadas: 1'049.584 mE; 1'024.156 mN</p>

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	FOTOGRAFÍA
	Plano de terraza nivel 2	sedimentación, en los cuales la corriente ha realizado un proceso de incisión o socavación vertical como consecuencia del rejuvenecimiento del paisaje. Los niveles más altos de terrazas, son los más antiguos y normalmente contienen los suelos más evolucionados, a menos que hubiesen sido disectados. Cada nivel de terraza está separado de otros por escarpes verticales a subverticales en los que afloran las capas de sedimentación.	FTApt2	 <p data-bbox="1346 846 1759 870">Coordenadas: 1'049.045 mE; 1'023.837 mN</p>
	Escarpe de terraza	Corresponde al escarpe o talud de terraza que separa cada uno de los niveles de terraza. Su altura, es indicativo del mayor o menor grado de incisión de la corriente hídrica. Por lo general, la ladera es muy corta y cóncava	FTAet	

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	FOTOGRAFÍA
Valle aluvial	Cauce activo	<p>Corresponde al canal hidráulico natural o zona de flujo por donde, actualmente transcurren las aguas de la quebrada La Esperanza. Este cauce, es producto de la erosión fluvial lateral, transporte y depositación en las márgenes de la quebrada.</p> <p>El material existente, transportado y depositado por el cauce, varía de acuerdo con la dinámica y al aporte del mismo, identificando variaciones texturales y composicionales a lo largo de la quebrada.</p>	FVAca	 <p>Coordenadas: 1'049.749 mE; 1'024.235 mN</p>
	Barra inestable	<p>Cuando el lecho mayor de un río trezado, se divide en varios canales menores que sucesivamente se bifurcan y reúnen aguas abajo, esto se encuentran separados por numerosos islotes y playones llamados en conjunto barras de cauce. La superficie es plana y presenta cantos de diferente tamaño. La característica de las barras inestables (FVAbi), radica prácticamente en que no se encuentran cubiertas con vegetación estratificada (arbórea, arbustiva y herbazal).</p>	FVAbi	

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	FOTOGRAFÍA
				Coordenadas: 1'049.154 mE; 1'023.727 mN
	Playa inestable	<p>Esta geoforma de origen fluvial, corresponde a las superficies planas con depósitos de materiales no consolidados; por lo general, arena y gravas que se localizan sobre las riberas de los cauces activos.</p> <p>La depositación, se genera cuando la cantidad de materiales disponibles sobrepasa el volumen de sedimentos que la corriente hídrica es capaz de desplazar. Generalmente tiene baja pendiente y un perfil ligeramente cóncavo. El tipo de materiales del depósito de playa de río y su acreción o remoción dependen del caudal de las aguas del río y de la composición litológica de las rocas del entorno.</p> <p>Las playas inestables (FVApi), se caracterizan porque no han sido colonizadas por vegetación.</p>	FVApi	 <p>Coordenadas: 1'049.584 mE; 1'024.156 mN</p>

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

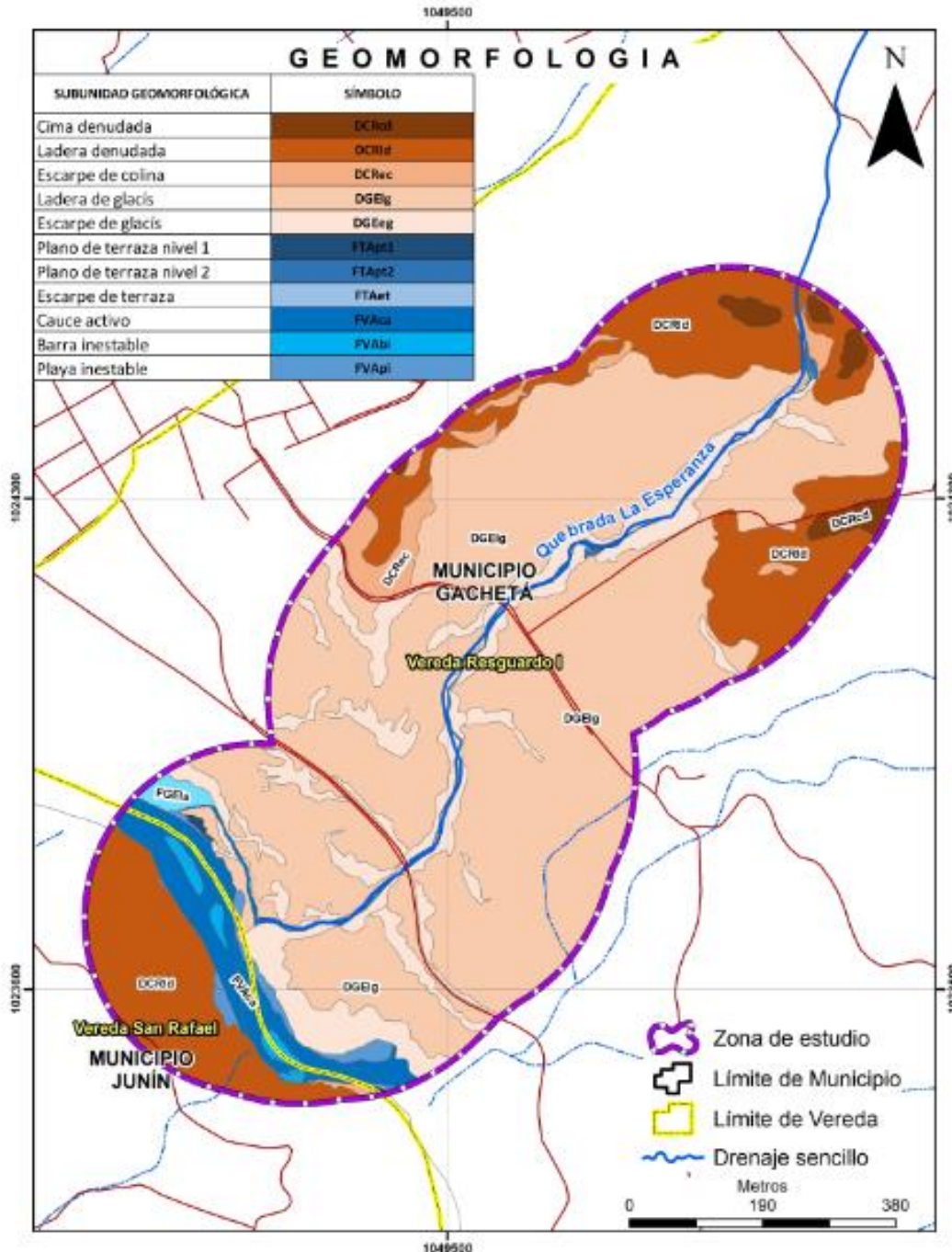
Finalmente, y con base tanto en los objetivos del estudio como en lo descrito anteriormente, la **Tabla 48** muestra la jerarquización realizada a partir tanto de la interpretación de los sensores remotos como del reconocimiento de campo, para el área de estudio de la quebrada La Esperanza.

**Tabla 48.** Jerarquización geomorfológica para el área de estudio

GEOMORFO-ESTRUCTURA	PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA	REGIÓN (Ambiente morfogenético)	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	SÍMBOLO	ÁREA	
							Hectáreas (Ha)	Porcentaje (%)
Sistema orogénico Andino	Cordillera Oriental	Ambiente de origen Denudacional (D)	Colina residual	Cima denudada	Ladera muy corta cóncava	DCRcd	1,10	1,50
				Ladera denudada	Ladera corta cóncava	DCRIcd	14,65	19,89
				Escarpe de colina	Ladera muy corta convexa	DCRec	1,78	2,41
			Glacís de erosión	Ladera de glacís	Ladera larga convexa	DGEIc	42,49	57,68
				Escarpe de glacís	Ladera muy corta cóncava	DGEec	8,66	11,76
			Ambiente de origen Fluvial (F)	Terraza de acumulación	Plano de terraza nivel 1	Superficie muy corta y plana con arenas y cantos de diferente tamaño	FTApt1	0,09
		Plano de terraza nivel 2			FTApt2		0,05	0,07
		Escarpe de terraza			FTAet		0,03	0,04
		Valle aluvial		Cauce activo	-	FVAca	3,46	4,69
				Barra inestable	Superficie plana con cantos de diferente tamaño	FVAbi	0,41	0,56
				Playa inestable	Superficie plana con arenas gruesas	FVApi	0,57	0,78
		<b>AREA TOTAL</b>						

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Con base en lo mencionado, la **Figura 97** muestra la distribución espacial de la jerarquización de la geomorfología para el área de estudio.



**Figura 97.** Distribución espacial de las subunidades de geomorfología al interior del área de estudio de la quebrada la esperanza

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### **7.1.1 Delimitación de las geoformas asociadas al límite funcional de la ronda, Escala 1:2.000**

A partir de lo mencionado en el título "Fase 6" y numeral 6.1, el componente geomorfológico de la **ronda hídrica** define el área necesaria para garantizar los procesos morfodinámicos que soportan la función de transporte y almacenamiento de agua y sedimentos (MADS, 2018).

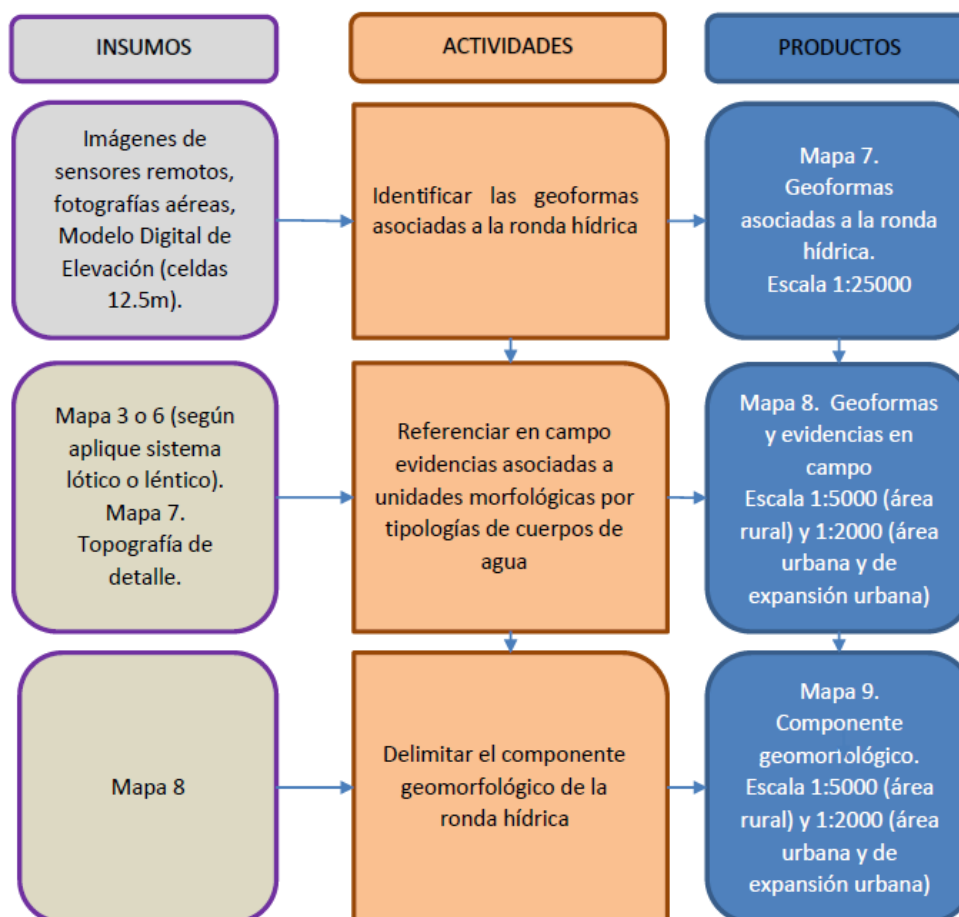
Dicha función presenta una elevada variabilidad temporal, entendiendo que los procesos como ajustes del cauce, pendiente, patrones de alineamiento, entre otros, suceden a diferentes escalas de tiempo. En términos geomorfológicos, la dinámica fluvial y su expresión pueden ser comprendidas como el resultado de la relación interdependiente de cuatro variables principales: caudal, longitud, carga y la capacidad de la corriente (MADS, 2018).

Las formas que se definen por los diferentes procesos morfodinámicos se pueden identificar en el terreno y son diferentes para cada tipo de drenaje o tramo del mismo. Estas, conforman la zona del componente geomorfológico, que tiene como fin garantizar que en el cauce permanente y su **ronda hídrica** puedan ocurrir los procesos mencionados anteriormente. "La pérdida de continuidad, ancho, estructura, naturalidad y conectividad de las riberas produce también efectos negativos sobre la geomorfología del cauce, impidiendo que esta cumpla con su función de transporte y almacenamiento temporal de agua y sedimentos" (MADS, 2019).

De acuerdo con lo establecido en la Guía Técnica de Criterios para la Delimitación de las Rondas Hídricas en Colombia, el objetivo del análisis geomorfológico es el de garantizar en la medida de los posible, el normal funcionamiento de la dinámica propia de los sistemas fluviales, entendiendo que alteraciones en el cauce pueden generar procesos que transformen o destruyan diferentes funciones ecosistémicas en torno al cuerpo de agua. Por tanto, la limitante geomorfológica busca garantizar la sucesión de procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos, junto con el régimen natural de flujo, tal que puedan darse de la manera más similar a las condiciones naturales (MADS, 2018).

Por lo tanto, una vez verificadas y evidenciadas las unidades interpretadas y descritas en la leyenda del mapa preliminar, se procedió a efectuar la toma y recolección de la información relacionada con las características morfogenéticas, morfológicas, morfométricas y morfodinámicas (ancho del cauce, tipo de corriente, sitios y tipo de sedimentos, pendiente, geoformas, cauce principal, ancho de las márgenes naturales, evidencias del nivel de flujo, entre otras).

Con base en lo mencionado, la **Figura 98** muestra el procedimiento propuesto por MADS (2018), para la determinación de las geoformas asociadas al límite funcional de la ronda hídrica.



**Figura 98.** Insumos, actividades y productos para definir el componente geomorfológico de la zona de estudio

**Fuente:** Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia, 2018.

Para el caso de la quebrada La Esperanza, las unidades geomorfológicas que hacen parte del límite funcional de la ronda hídrica, se presentan en la **Tabla 49**.

**Tabla 49.** Unidades geomorfológicas asociadas a la ronda hídrica de la quebrada la esperanza

GEOMORFO-ESTRUCTURA	PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA	REGIÓN (Ambiente morfogenético)	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	SÍMBOLO
Sistema orogéni	Cordillera Oriental	Ambiente de origen	Terraza de acumulación	Plano de terraza nivel 1	Superficie muy corta y plana con arenas y cantos de diferente tamaño	FTApt1

GEOMORFO-ESTRUCTURA	PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA	REGIÓN (Ambiente morfogenético)	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	SÍMBOLO
co Andino		Fluvial (F)	Valle aluvial	Escarpe de terraza	Ladera muy corta cóncava	FTAet
				Cauce activo	-	FVAca
				Barra inestable	Superficie plana con cantos de diferente tamaño	FVAbi
				Playa inestable	Superficie plana con arenas gruesas	FVApi

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Delimitación de la ronda asociada al componente geomorfológico**

Finalmente, la **Figura 99**, muestra el límite físico de la Ronda Hídrica de la quebrada La Esperanza asociado al componente geomorfológico. Por lo tanto y de acuerdo con lo mencionado, para mayor detalle se recomienda consultar el Mapa del límite físico de la quebrada La Esperanza, presentado en el Anexo 4. Cartografía, el cual muestra la información a escala 1:2.000.



**Figura 99.** Límite físico de la ronda hídrica asociada al componente geomorfológico  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

A partir de lo mencionado, la **Tabla 50** muestra las variables claves, los criterios y el tipo de corriente, utilizados para definir el componente geomorfológico de la quebrada La Esperanza.

**Tabla 50. Criterios y tipo de corriente de la quebrada La Esperanza**

SEGMENTO O TRAMO	PARTE ALTA	PARTE MEDIA		PARTE BAJA
PATRÓN DE DRENAJE	Paralelo a dendrítico con textura fina a gruesa			
PENDIENTE MEDIA DEL TRAMO (%)	14,56%	10,55%	13,55%	6,96%
TIPO DE CORRIENTE	Permanente	Permanente		Permanente
TALWEG	Si	Si		Si
VARIABLE CLAVE	Caudal; Identificación y verificación de márgenes con problemas de inestabilidad			Caudal
CRITERIOS PARA DEFINIR EL COMPONENTE	Depósito de sedimentos; Toda la vaguada	Depósito de sedimentos (erosión y depositación); Toda la vaguada		Depósito de sedimentos (depositación); Toda la vaguada
ZONAS CON CAMBIO EN LA PENDIENTE	Permanente	Permanente		Permanente
TRAMO	“Encañonado”	“Encañonado”		“Encañonado”
GEOFORMAS ASOCIADAS	FVAca	FVAca FVAbi FVApi		FVAca FVAbi FVApi

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

De igual manera y junto a lo mencionado anteriormente, la **Figura 100** muestra los sectores, obtenidos a partir del perfil topográfico, en que se ha dividido el cauce de la quebrada La Esperanza. A su vez, la figura muestra algunas secciones o ampliaciones de sectores de la quebrada La Esperanza con el fin de visualizar el componente geomorfológico con mayor detalle.



**Figura 100. Perfil topográfico de la zona de estudio de la quebrada La Esperanza (\*)**

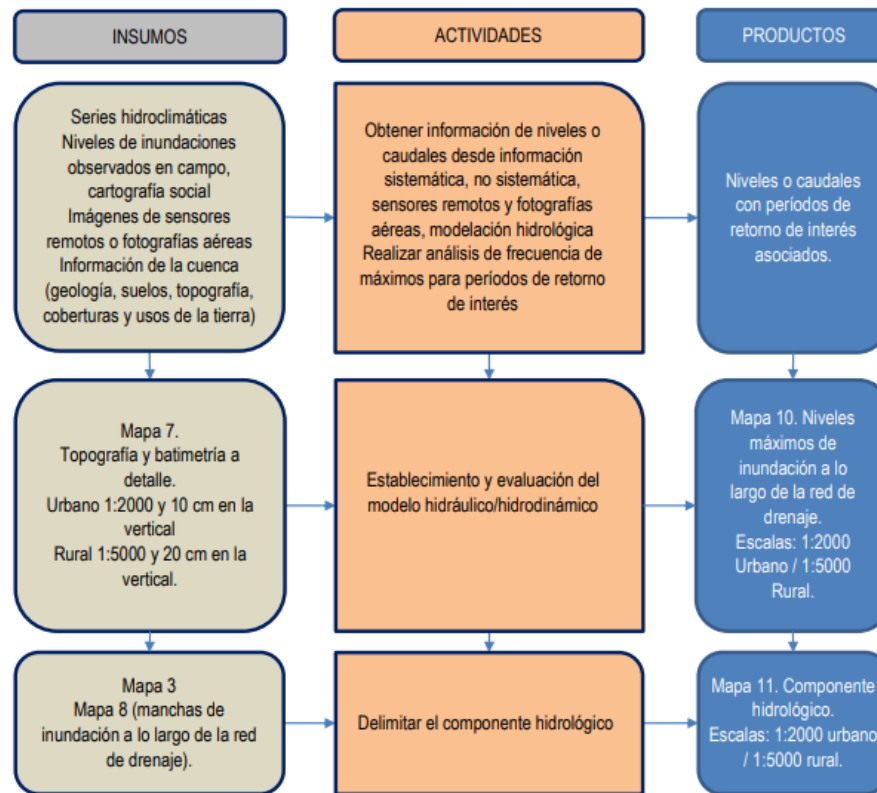
Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

**NOTA (\*):** El perfil mostrado en la Figura 100, se encuentra a nivel de ilustración o representación; por lo tanto, se recomienda para mayor detalle, consultar el anexo del capítulo de topografía y batimetría presentados en la Fase 2, Fase 3 y Fase 4 del presente documento.

## 7.2 Componente Hidrológico de la Ronda Hídrica

El componente hidrológico de la ronda hídrica, garantiza el adecuado funcionamiento del sistema fluvial, manteniendo la conexión de los cuerpos de agua del sistema, el intercambio de sedimentos, nutrientes y organismos para el adecuado funcionamiento de los ciclos biológicos (MADS, 2018). En ese sentido el componente está delimitado por la zona ocupada por la corriente durante eventos de crecientes e inundaciones, contemplando la variabilidad intra anual e inter anual del régimen hidrológico (MADS, 2018).

En la **Figura 101** se relacionan los insumos, actividades y productos para la delimitación del componente hidrológico, cabe mencionar que los insumos y las actividades indicadas se muestran previamente en el levantamiento topográfico y la modelación hidrológica.



**Figura 101.** Insumos, actividades y productos para definir el componente hidrológico de la zona de estudio

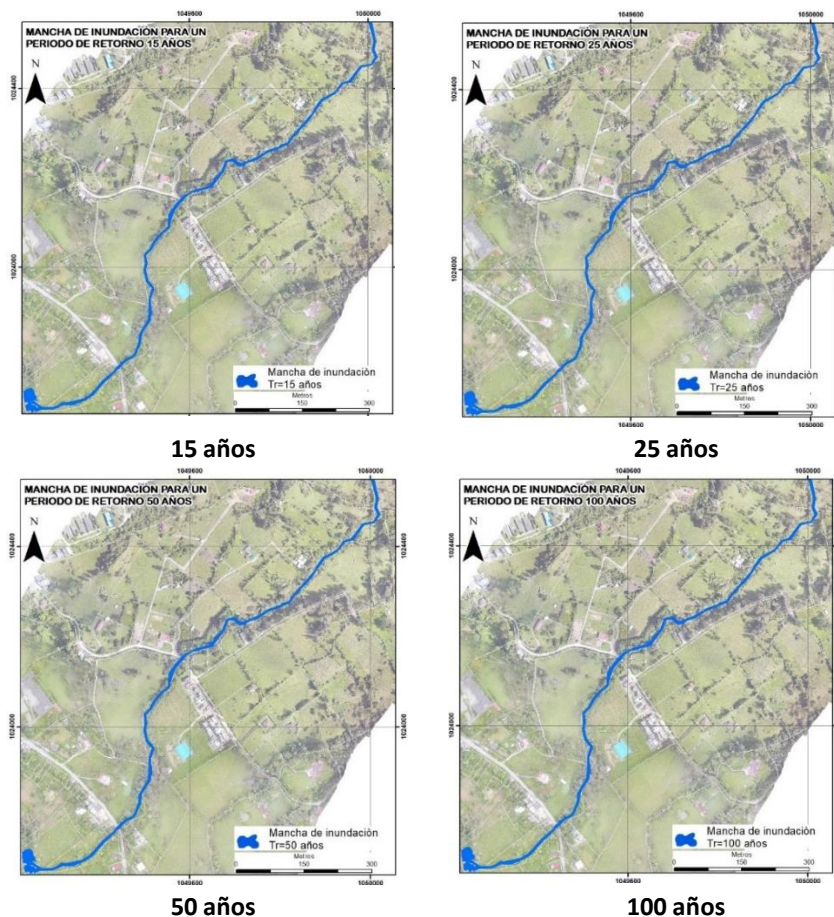
**Fuente:** Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia, 2018.

Teniendo en cuenta lo mencionado en la Fase 5, donde se desarrolló lo referente a la determinación de las características morfométricas, registros de eventos históricos, y la información recopilada,

analizada que posteriormente fue insumo para la generación de los modelos, permitió la determinación de las crecientes en función de los diferentes periodos de retorno.

Para el presente caso, se decidió tomar el periodo de retorno de 15 años, para establecer la delimitación del componente hidrológico, puesto que al compararla con las de 25, 50 y 100 años (Ver Figura 102), no evidencia una variación significativa dadas las condiciones de encauzamiento del cuerpo de agua producto del relieve. Adicionalmente, con este periodo de tiempo se incluyen las conclusiones que fueron dadas durante la cartografía social (Ver **Figura 13**) incluyendo los eventos reportados por parte de los asistentes al taller.

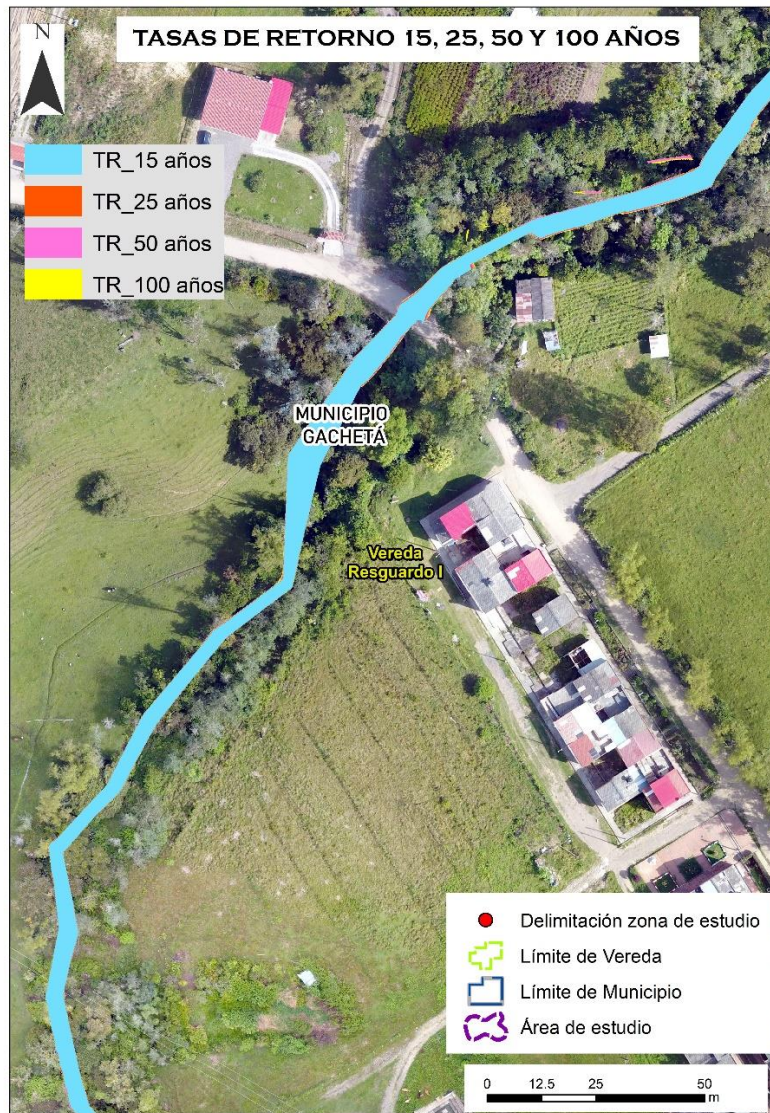
Otro criterio de selección, consiste en el análisis realizado de la velocidad promedio de la quebrada objeto de estudio, donde en el periodo de 15 años se registra un valor de 3.37 m/s, mientras que para el periodo de 100 años la variación promedio varía 0.35 m/s, siendo esta de 3.72 m/s.



**Figura 102.** Manchas de inundación en diferentes periodos de tiempo para la quebrada La Esperanza

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

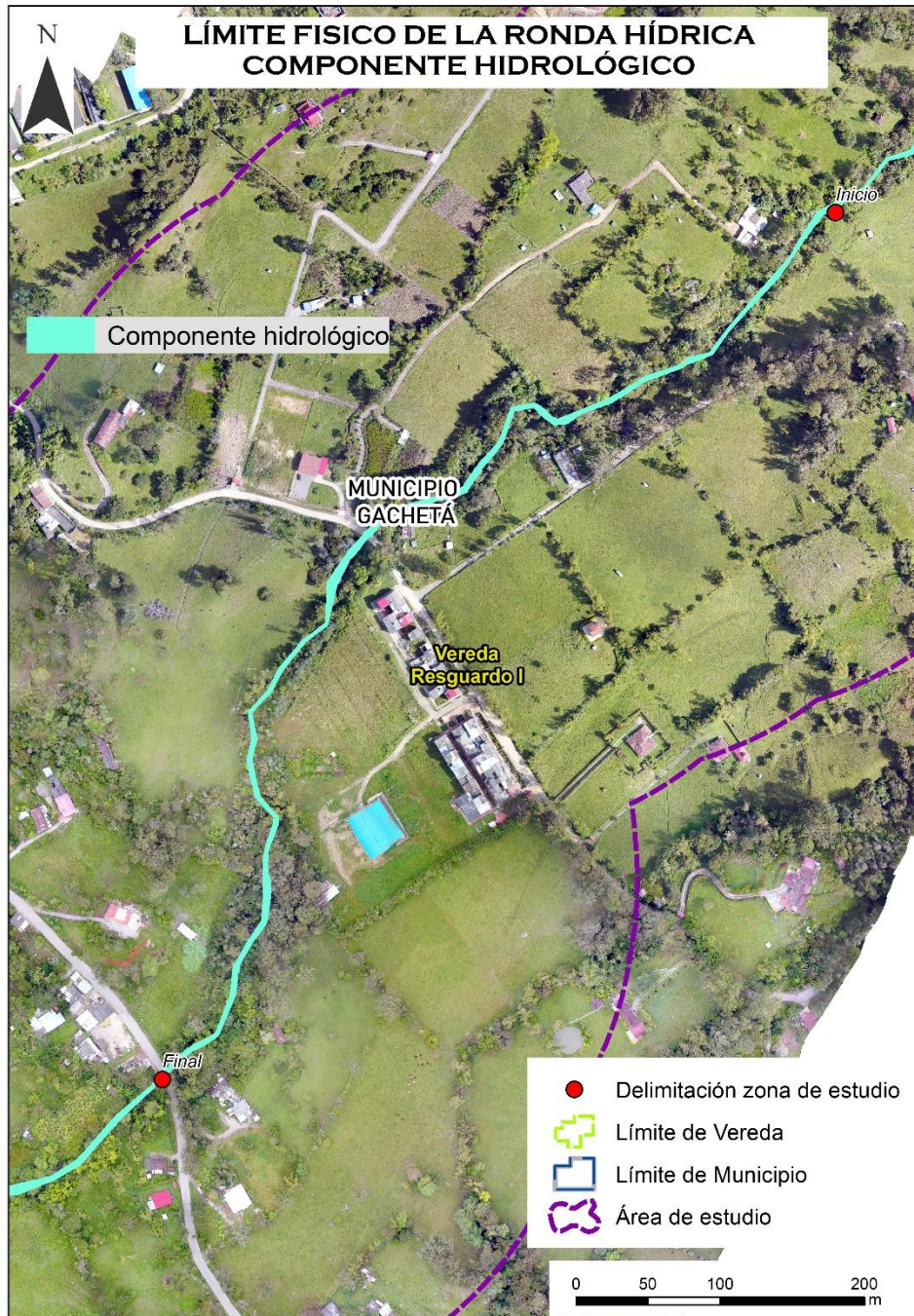
Obsérvese en la **Figura 103** con detalle a la altura de la urbanización La Esperanza, que las variaciones de los diferentes periodos de retorno son casi imperceptibles con las tasas de retorno resultantes de los análisis previamente realizados en la fase 5.



**Figura 103.** Ampliación a la altura de la urbanización la esperanza de los diferentes periodos de retorno

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Una vez comprendido lo anterior, se muestra a continuación en la **Figura 104**, el mapa del componente hidrológico para la ronda hídrica objeto de estudio.



**Figura 104.** Delimitación de la ronda hídrica desde el componente hidrológico  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

## 7.3 Componente Ecosistémico de la Ronda Hídrica

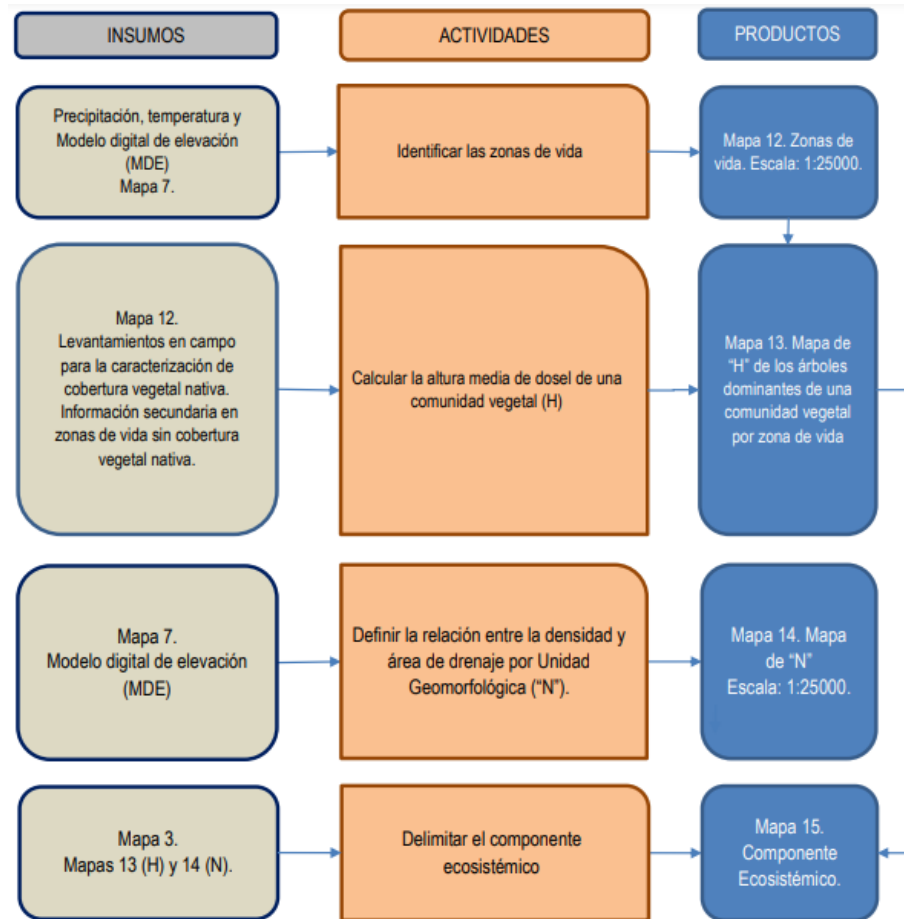
### 7.3.1 Metodología

Los criterios metodológicos se fundamentan en que las especies que presentan una mayor altura, cuentan a su vez con grandes raíces que favorecen la capacidad de infiltración y retención de agua, las demás especies fotosintéticas pueden beneficiarse de estos almacenamientos temporales de agua y nutrientes. Adicionalmente, se genera una reducción de la velocidad de escorrentía, permitiendo que estos procesos se encuentren relacionados con la fertilidad de los suelos e impidiendo la erosión de los mismos.

Para la delimitación del componente ecosistémico, se realiza la revisión con información secundaria acerca del tipo de coberturas que se encuentran presentes en el área con la finalidad de plantear los recorridos durante la fase de campo. Una vez revisada esa información se procede a realizar recorridos a lo largo de la franja de vegetación aledaña a la quebrada La Esperanza, donde se realizan 3 parcelas de 50m \* 5m, identificando aquellas especies que cumplieran los criterios relacionados con diámetro a la altura del pecho "DAP" superior a 10 cm, y una altura del ejemplar superior a 3 metros, de acuerdo a los criterios propuestos por (Villarreal, y otros, 2004).

Una vez identificadas las especies que cumplen los criterios anteriormente mencionados, se realizó un análisis de diversidad, frecuencia y abundancia para calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI), que según Chen (1991), implica que cuando la franja riparia alcanza una longitud equivalente a tres veces la altura "H", todas las variables alcanzan una efectividad acumulada del 100%, favoreciendo los procesos biológicos que se dan en la misma.

Después de ello se realiza la delimitación del componente ecosistémico, mediante la relación entre la altura de las 3 especies con mayor importancia fitosociológica y la densidad de drenaje por unidad de área geomorfológica siguiendo el orden que se muestra en la **Figura 105**.

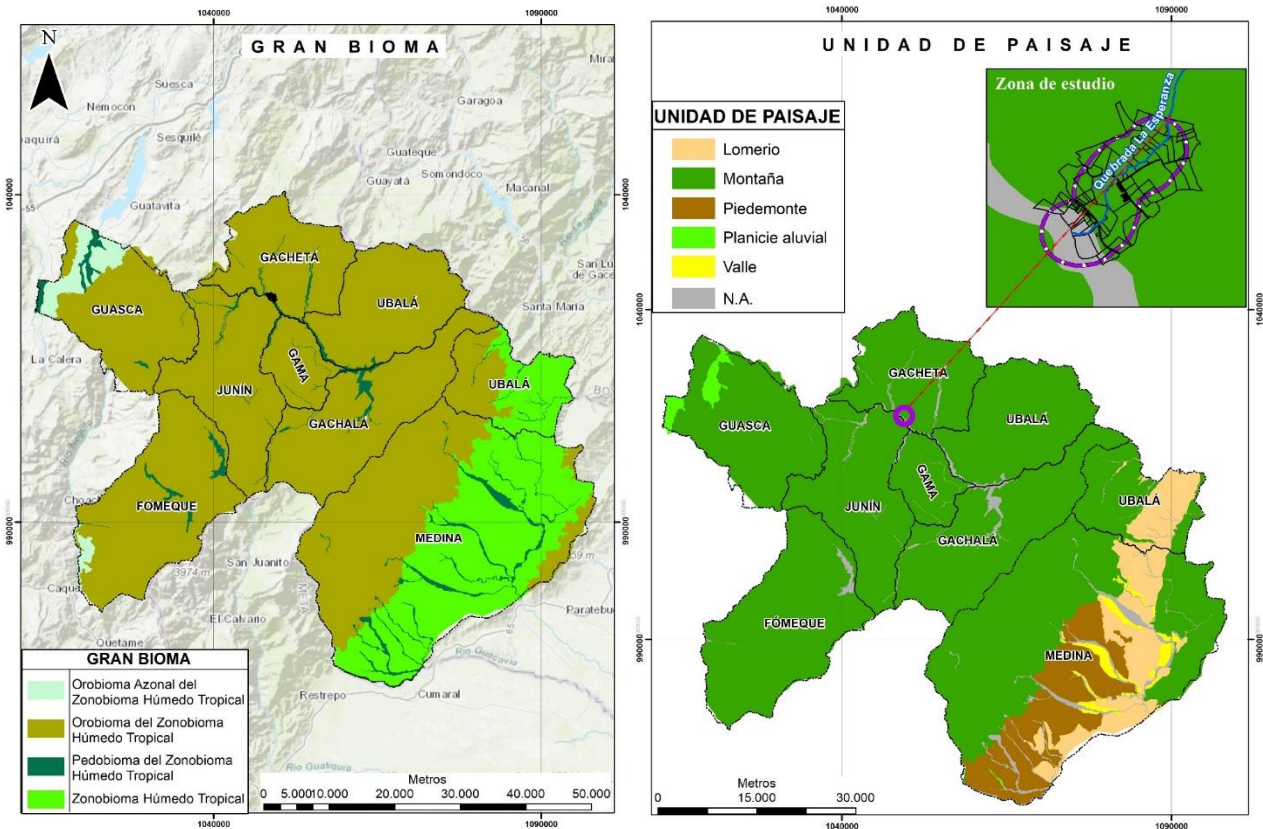


**Figura 105.** Insumos, actividades y productos para definir el componente ecosistémico de la zona de estudio

**Fuente:** Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia, 2018.

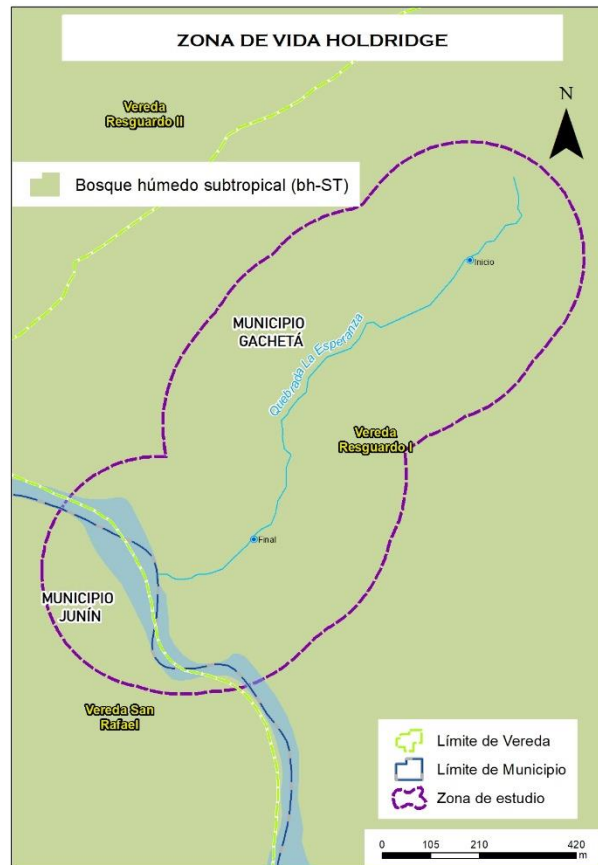
La quebrada La Esperanza se encuentra ubicada en el municipio de Gachetá, puntualmente en la vereda Resguardo I. Se le confiere este nombre debido a la urbanización conocida como La Esperanza. De acuerdo con el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia a escala 1:100.000 (IDEAM, 2017), este cuerpo de agua se encuentra ubicado en el orobioma del zonobioma húmedo tropical (Ver **Figura 106**).

Por otro lado, el área de estudio delimitada por la franja de 250 metros a lado y lado de la quebrada La Esperanza, se encuentra un paisaje montañoso, con un rango altitudinal comprendido entre los 1700 y 1900 msnm, una biotemperatura entre 16°C y 20°C, y una precipitación promedio anual superior a los 1.470mm.



**Figura 106.** Características ecosistémicas presentes en la región del Guavio  
 Izq. Gran bioma. – Der. Unidades de paisaje  
**Fuente:** Mapa de ecosistemas de Colombia, 2017

Adicionalmente se puede mencionar que el área de estudio se encuentra clasificada como orobioma subandino (Ver **Figura 107**), dado que se encuentra entre los 500 y los 1.800 msnm, con ciertas variaciones oscilantes de 300 metros, y su temperatura se encuentra entre los 18 y los 24°C. la estructura y fisionomía de la vegetación natural es similar a la del zonobioma húmedo tropical, pero difiere del mencionado en cuanto a que el dosel es un poco más bajo, inferior a 30 metros, hay menos raíces zancos o tablares en los árboles, y generalmente las hojas presentan unos menores tamaños a comparación de la vegetación propia del bosque húmedo tropical (Bernal, Gradstein, & Celis, 2016). Teniendo en cuenta el criterio de clasificación de zonas de vida de Holdridge, L (2000), la zona de estudio se encuentra catalogada como bosque húmedo sub tropical (bh-ST).



**Figura 107.** Zona de vida presente en el área de estudio  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Ahora bien, en la delimitación del componente ecosistémico se debe considerar que la franja de bosque ripario corresponde a la zona de transición entre una corriente de agua y el ecosistema terrestre adyacente, esta franja de vegetación se caracteriza por tener un nivel freático alto y se ve influenciada por las fluctuaciones en los niveles del agua. La vegetación existente en dicha franja cumple diferentes funciones ambientales y sociales, entre estas se encuentra la regulación hídrica y micro climática, protección del cauce, mejoramiento de la calidad del agua, estabilización y protección del suelo, protección de la biodiversidad y oferta de bienes ecosistémicos a la población aledaña (Posada & Arroyave, 2015). Características inherentes y aplicables a la presente zona de estudio.



**Fotografía 7.** Franja de vegetación riparia de la quebrada La Esperanza (E:1049684 – N:1024238)

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Una vez comprendida la importancia de la zona riparia, las acciones antrópicas, principalmente deforestación, se llevan a cabo con la finalidad de implementar sistemas agropecuarios quienes ocasionan una degradación del ecosistema (Rodríguez, Perez, & Leyva, 2018), esto a su vez, genera una serie de problemáticas derivadas como inundaciones, erosión, contaminación y alteración de la calidad del agua.



**Fotografía 8.** Problemática por basuras  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Fotografía 9.** Problemática por erosión  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Lo que se busca con el componente ecosistémico es identificar el tipo de coberturas vegetales propias de la región, para de esta manera plantear medidas de establecimiento, mantenimiento o recuperación, permitiendo que se reestablezcan las funciones ecosistémicas propias de la

vegetación riparia. No obstante, estas medidas deben ser establecidas de manera congruente con los componentes geomorfológico e hidrológico y articuladas por supuesto con el ordenamiento territorial y demás instrumentos de gestión ambiental.

### 7.3.2 Coberturas vegetales y uso del suelo

Las coberturas son unidades delimitables que surgen a partir de análisis espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales diferenciales con respecto a otra unidad (IDEAM, 2014). Su análisis permite describir la vegetación, elementos naturales y antrópicos que se encuentran en una determinada zona.

A continuación, en la **Tabla 51** se relacionan las coberturas identificadas dentro del área de estudio comprendida en el Buffer de 250 metros a ambos lados de la quebrada La Esperanza y desde la coordenada E: 1049907 N:1024374 hasta la coordenada E:1049440 N:1023772 utilizando la metodología Corine Land Cover (CLC) adaptada para Colombia (IDEAM, 2010).

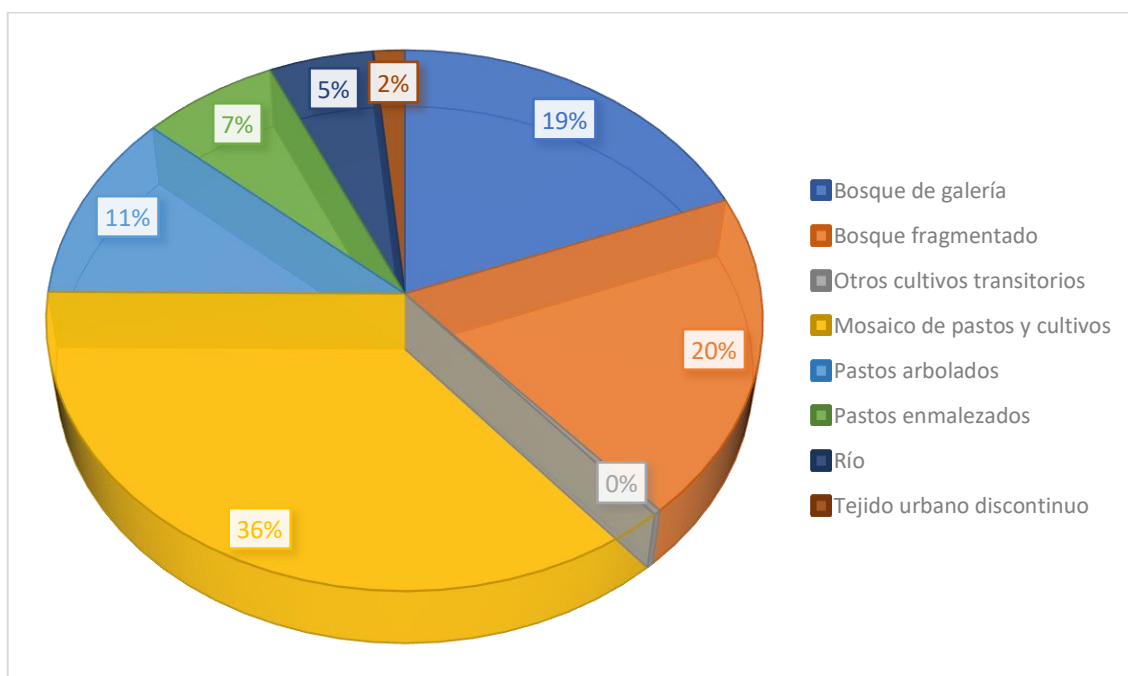
**Tabla 51.** Coberturas identificadas dentro del área de estudio

CLC LV I	CLC LV II	CLC LV III	COBUSO	AREA (ha)	Porcentaje (%)
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	Bosque de galería	Bosque de galería	14,07	19,10
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	Bosque fragmentado	Bosque secundario fragmentado	14,27	19,37
Territorios agrícolas	Cultivos transitorios	Otros cultivos transitorios	Cultivos transitorios semi intensivos	0,22	0,30
Territorios agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de pastos y cultivos	Pastos manejados para ganadería semi intensiva	26,77	36,34
Territorios agrícolas	Pastos	Pastos arbolados	Pastos arbolados para ganadería semi intensiva	8,36	11,35
Territorios agrícolas	Pastos	Pastos enmalezados	Pastos enmalezados para ganadería extensiva	5,00	6,79
Superficies de agua	Aguas continentales	Río	Río	3,83	5,20

CLC LV I	CLC LV II	CLC LV III	COBUSO	AREA (ha)	Porcentaje (%)
Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	Tejido urbano discontinuo	Asentamientos poblacionales	1,15	1,56

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

De acuerdo a la tabla anterior, se puede identificar que la mayor cobertura presente en el área de estudio, corresponde a mosaico de pastos y cultivos (36,3%), seguida de bosque fragmentado (19%) y en un tercer lugar con el mismo porcentaje de cobertura presente en la zona de influencia, se encuentra el bosque de galería (19%), dicha información se puede observar en la **Figura 108**.



**Figura 108.** Porcentaje de coberturas presentes en el área de estudio

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Entre las coberturas menos representativas, se encuentra que otros cultivos transitorios está representada por menos del 0,5% del buffer de estudio, particularmente en esta, según reportes de campo, se establece que hay zonas de cultivos y barbechos que no son extensas, pero que a su vez permiten evidenciar que hay un uso agrícola del suelo.

La siguiente cobertura en menor grado de representación, y de acuerdo a los criterios utilizados por de la metodología Corine Land Cover, dentro del área de influencia es el tejido urbano discontinuo y el río Gachetá, que es donde desemboca la quebrada objeto del presente estudio.

A continuación, se hace la descripción y se muestran evidencias de las coberturas y uso del suelo mencionados anteriormente.

- **Territorios artificializados**

**Zonas urbanizadas**

Tejido urbano discontinuo

Corresponde a espacios conformados por edificaciones y zonas verdes; las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área se encuentra cubierta por vegetación.

Se incluye la urbanización La Esperanza y las redes viales en esta cobertura, debido a que el total de la urbanización es menor a 5 Has (ver **Fotografía 10** y **Tabla 51**) y la red de carreteras cuenta con un ancho de la vía menor a 50 metros (Ver Fotografía 11).



**Fotografía 10.** Tejido urbano discontinuo en la franja de estudio  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Fotografía 11.** Vías ubicadas en la franja de estudio  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Territorios agrícolas**

**Pastos**

Pastos arbolados

Comprende tierras cubiertas por pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos de forma dispersa, Ver Fotografía 12.



**Fotografía 12.** Pastos arbolados presentes en la franja de estudio  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Pastos enmalezados

Comprende las coberturas que poseen tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, generalmente se dan por escasas prácticas de manejo o abandono, cabe mencionar que en este caso la altura de la vegetación es generalmente menor a 1.5 metros, Ver Fotografía 13.



**Fotografía 13.** Pastos enmalezados presentes en la franja de estudio

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### Áreas agrícolas heterogéneas

#### Mosaico de pastos y cultivos

Espacios ocupados por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes se encuentra intrincado impidiendo representarlos individualmente. Ver Fotografía 14.



**Fotografía 14.** Mosaico de pastos y cultivos presentes en la franja de estudio

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### Cultivos transitorios

#### Otros cultivos transitorios

Tierras ocupadas por cultivos transitorios con un área inferior a 25 Has, para el caso de la zona de estudio se encuentran cultivos de maíz, caña y pasto imperial, que no cuentan con grandes extensiones.



**Fotografía 15.** Cultivos transitorios presentes en la franja de estudio

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Bosques y áreas seminaturales**

**Bosques**

Bosque fragmentado

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad se encuentra afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pastos, cultivos o vegetación en estado de transición, Ver Fotografía 16.



**Fotografía 16.** Bosque fragmentado presente en la franja de estudio

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Bosque de galería

Vegetación arbórea ubicada en las márgenes de los cursos de agua permanentes o temporales. La función de estos bosques es proteger los ríos, garantizando una calidad de agua adecuada, el

mantenimiento del ciclo hidrológico, y evitando procesos erosivos (Costa, Vaz, & Mendez, 2006). En el presente estudio se encuentra ubicada en la franja aleadaña al río Gachetá (Ver Fotografía 17).



**Fotografía 17.** Bosque de galería en la zona riparia del río Gachetá  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

- **Superficies de agua**

**Aguas continentales**

Ríos

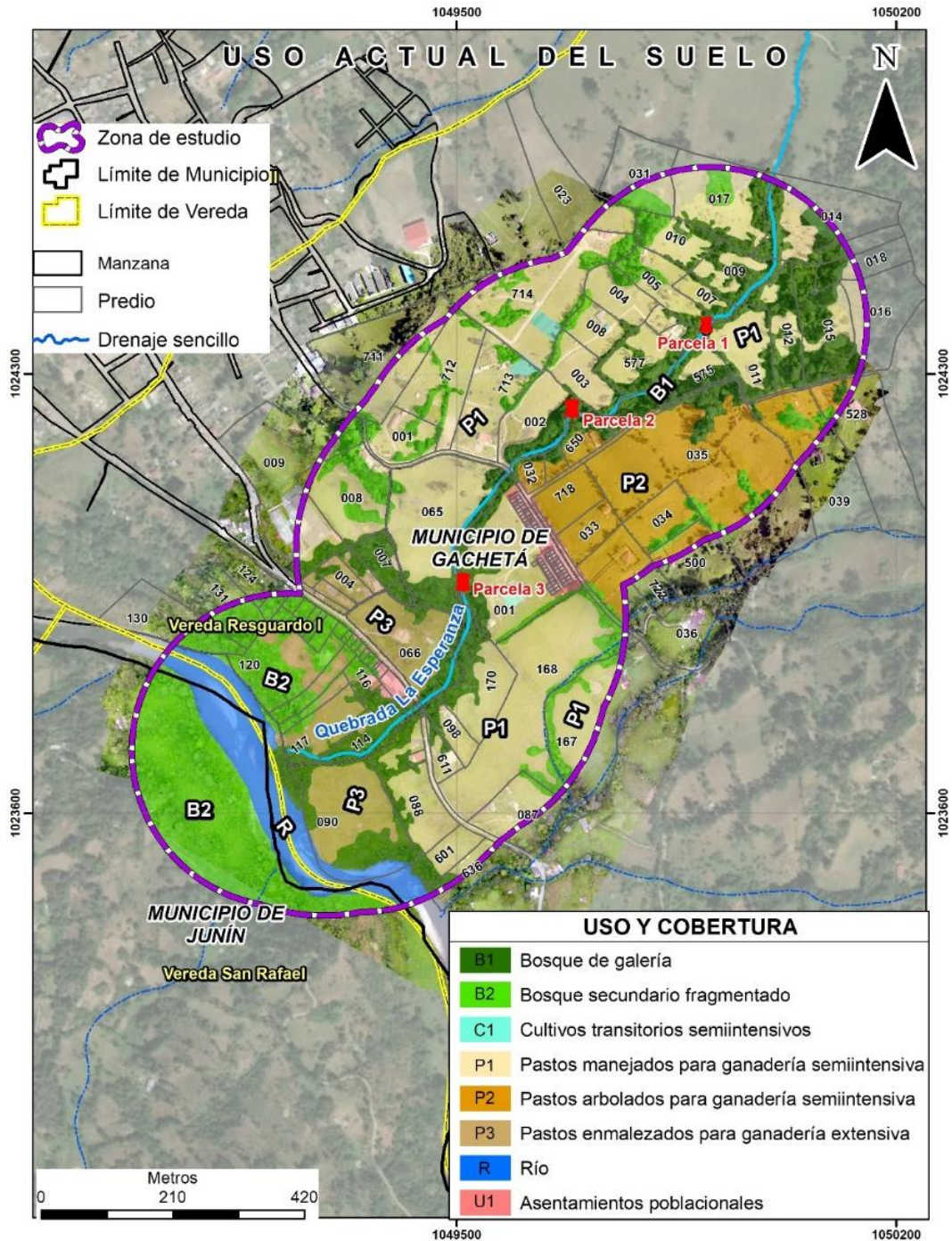
Corriente natural de agua que fluye con continuidad, en el área de estudio, se encuentra que la quebrada objeto de estudio desemboca en el río Gachetá cuyo ancho de cauce es mayor a 50 metros. Esta cobertura se puede observar en la Fotografía 18.



**Fotografía 18.** Río Gachetá en el que desemboca la quebrada La Esperanza  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Una vez identificadas las coberturas en campo y corroboradas con la información secundaria, se procede a elaborar la caracterización de las mismas utilizando como insumos los recorridos realizados y la ortofoto, por ende, a continuación en la **Figura 109**, se muestra la localización de

cada tipo de coberturas y uso del suelo que presenta la franja de estudio para la quebrada La Esperanza, cabe mencionar que esta se encuentra en el nivel 3 de acuerdo a la metodología Corine Land Cover.



**Figura 109.** Cobertura y uso del suelo en la franja de estudio de la quebrada La Esperanza  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 7.3.3 Zonas de importancia estratégica

Aun cuando en el área de estudio no se encuentran humedales, ni zonas con condiciones ambientales, bióticas o climáticas especiales, a continuación, se hace una descripción de los aspectos más representativos y de importancia para el mantenimiento de las condiciones funcionales dentro del área de influencia.

#### Bosque de galería

En los recorridos que se realizaron a lo largo del cuerpo de agua, se identificaron zonas estratégicas para la conservación y mantenimiento de la funcionalidad de la ronda hídrica, entre estos se encuentra la vegetación riparia, considerando que a pesar de que la franja de bosque que se encuentra a lado y lado de la quebrada La Esperanza, no es lo suficientemente funcional para mitigar cargas contaminantes producto de las actividades que se desarrollan alrededor, no permite regular adecuadamente microclimas (debido a baja altura de la vegetación), ni mitigar de manera óptima la erosión y el arrastre de sedimentos, se considera esencial tomar acciones que permitan su adecuado funcionamiento. Algunas de ellas se describen más adelante en el presente documento.

#### Río Gachetá

Como todo río, este cuerpo de agua se considera de importancia estratégica para mantener las condiciones óptimas bióticas y climáticas, que permita mantener la oferta de servicios ambientales como regulación climática, oferta de recursos naturales, belleza escénica, mantenimiento de la biodiversidad, entre otros.



**Fotografía 19.** Aguas abajo del río Gachetá, cambia su nombre a río Guavio  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 7.3.1 Vegetación

Dadas las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra el cuerpo de agua objeto de estudio, la vegetación que se encuentra, cuenta con características de vegetación riparia, hablando del Río Gachetá, que es donde desemboca la quebrada La Esperanza. Y considerando también que se ha establecido una urbanización, que aunque no es demasiado extensa, genera unas modificaciones en el territorio relacionadas con el establecimiento de sistemas productivos a su alrededor.

No obstante, se pueden encontrar diferentes estratos vegetales, conformados en su mayoría por pasturas y pastos arbolados. Entre estas coberturas suelen presentarse plantas de las familias Poaceae (*Zea mays*, *Axonopus scoparius* y *Pennisetum clandestinum*, *Guadua sp.*) y Verbenaceae (*Citharexylum karstenii*), Fabaceae (*Inga edulis*, *Lonchocarpus sericeus*), Myrtaceae (*Myrcianthes rhopaloides*, *Eucalyptus sp.*), Rubiaceae (*Posoqueria sp.*) y Asteraceae (*Baccharis nítida*), respectivamente.

En la **Tabla 52**, se muestran las especies identificadas durante los recorridos de campo en la franja de estudio que corresponde al buffer de 250 metros a ambos lados del cuerpo de agua de la quebrada La Esperanza.

**Tabla 52.** Especies de plantas identificadas en la franja de estudio

Familia	Especie	Nombre común
Asparagaceae	<i>Agave sp.</i>	Pencas de maguey
Asteraceae	<i>Baccharis nitida</i>	Chilco
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Guayacán
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum crenatum</i>	Canelo
Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	Guama
Fabaceae	<i>Lonchocarpus sericeus</i>	Cafetero
Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caobo
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i>	Plátano
Myrtaceae	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	Arrayán negro
Myrtaceae	<i>Eucalyptus sp.</i>	Eucalipto
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Guayabo
Oleaceae	<i>Fraxinus chinensis</i>	Árbol de urapán
Poaceae	<i>Guadua sp.</i>	Guadua
Poaceae	<i>Saccharum officinarum</i>	Caña
Poaceae	<i>Axonopus scoparius</i>	Pasto imperial
Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Pasto kikuyo
Poaceae	<i>Zea mays</i>	Maíz
Podocarpaceae	<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	Pino

Familia	Especie	Nombre común
Rubiaceae	<i>Posoqueria</i>	Cafeto
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	Naranja
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce
Verbenaceae	<i>Citharexylum karstenii</i>	Pipo

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### 7.3.2 Índice de valor de importancia (IVI)

El índice de valor de importancia, considera la importancia fitosociológica de una especie dentro de una comunidad forestal, por tal motivo, para el presente estudio se realizó un inventario forestal mediante 3 parcelas de 50 m\*10 m, ubicadas a lo largo de la franja riparia (Ver **Figura 109**), de manera adicional, se realizaron recorridos de campo a lo largo de la franja de 250 metros identificando la vegetación predominante.

La fórmula para calcular el IVI consiste en la sumatoria de la abundancia relativa (Ar), la dominancia relativa (Dr) y la frecuencia relativa (Fr). Cabe mencionar que un parámetro importante durante el levantamiento de información para el cálculo del índice, es que los árboles deben cumplir dos criterios que son: altura mayor a 3 metros y un diámetro mayor a 10 cm.

Durante el levantamiento de información se obtuvieron datos de la altura de la comunidad vegetal y diámetro a la altura del pecho "DAP", posteriormente se hicieron los cálculos del área basal, abundancia, dominancia y frecuencia, absoluta y relativa. Insumos necesarios para el cálculo del índice de valor de importancia propuesto por Finol (1971), cuyos resultados se muestran a continuación en la **Tabla 53**.

**Tabla 53.** Cálculo del IVI para las especies reportadas en las parcelas

IVI Parcela 1		IVI Parcela 2		IVI Parcela 3	
Especie	IVI	Especie	IVI	Especie	IVI
<i>Eucalyptus sp.</i>	24,51	<i>Eucalyptus sp.</i>	29,27	<i>Posoqueria</i>	21,54
<i>Citharexylum karstenii</i>	22,25	<i>Posoqueria</i>	13,20	<i>Citharexylum karstenii</i>	15,40
<i>Salix humboldtiana</i>	8,73	<i>Citharexylum karstenii</i>	11,24	<i>Inga edulis</i>	13,54
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	8,17	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	10,13	<i>Eucalyptus sp.</i>	12,61
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	7,00	<i>Inga edulis</i>	8,33	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	11,17
<i>Posoqueria</i>	6,95	<i>Baccharis nitida</i>	7,21	<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	6,98
<i>Lonchocarpus sericeus</i>	6,82	<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	6,98	<i>Salix humboldtiana</i>	6,35

IVI Parcela 1		IVI Parcela 2		IVI Parcela 3	
Especie	IVI	Especie	IVI	Especie	IVI
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	5,24	<i>Salix humboldtiana</i>	6,35	<i>Baccharis nitida</i>	5,13
<i>Inga edulis</i>	5,21	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	4,05	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	4,05
<i>Baccharis nitida</i>	5,13	<i>Lonchocarpus sericeus</i>	3,24	<i>Lonchocarpus sericeus</i>	3,24

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

No obstante, es importante resaltar que las especies *Eucalyptus sp.* y *Retrophyllum rospigliosii* no son nativas, por ende, a pesar de que fueron reportadas en el área de estudio, no se tendrán en cuenta al momento de la delimitación del componente ecosistémico.

### 7.3.3 Delimitación de la ronda desde el componente ecosistémico

De acuerdo con la Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas (MADS, 2018) en la que se basa el presente estudio, para la delimitación de la ronda hídrica desde el componente ecosistémico se deben tener en cuenta los parámetros de altura, de las 3 principales especies de la comunidad vegetal resultado del IVI previamente calculado. Y la relación entre la densidad y área de drenaje por unidad geomorfológica.

#### Cálculo de H

Con la altura de los árboles cuya importancia fitosociológica fue mayor en las parcelas realizadas y con lo propuesto por Chen (1991), quien menciona que "cuando la franja riparia alcanza una longitud de tres veces H, las variables Humedad relativa, humedad del suelo, radiación, velocidad del viento, temperatura del suelo y del aire, alcanzan una efectividad acumulada del 100%, esta situación favorece de una manera positiva los procesos biológicos que se dan en ella como el desarrollo radicular, la cantidad de materia orgánica producida (hojarasca y trozos de madera) y sombra".

A continuación, en la **Tabla 54**, se muestra la relación de la altura por las tres (3) especies que representaron una mayor importancia fitosociológica, y además se muestra el cálculo de la efectividad al 100% según lo propuesto por Chen (1991).

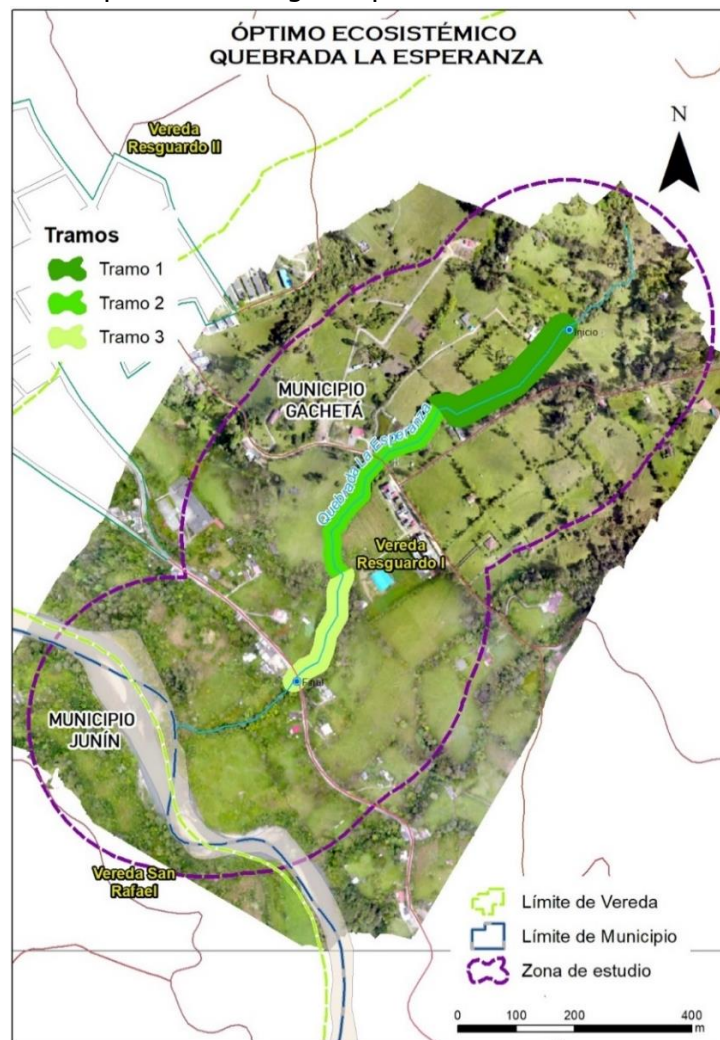
**Tabla 54.** Resultados del parámetro estructural H

Parcela 1	H (m)	3H (m)	Parcela 2	H (m)	3H (m)	Parcela 3	H (m)	3H (m)
<i>Citharexylum karstenii</i>	5	15	<i>Posoqueria sp.</i>	5	15	<i>Posoqueria sp.</i>	5	15

Parcela 1	H (m)	3H (m)	Parcela 2	H (m)	3H (m)	Parcela 3	H (m)	3H (m)
<i>Salix humboldtiana</i>	15	45	<i>Citharexylum karstenii</i>	5	15	<i>Citharexylum karstenii</i>	5	15
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	6,4	19,2	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	6,4	19,2	<i>Inga edulis</i>	8,1	24,3
<b>Promedio</b>	<b>8,8</b>	<b>26,4</b>	<b>Promedio</b>	<b>5,5</b>	<b>16,4</b>	<b>Promedio</b>	<b>6,0</b>	<b>18,1</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

Adicionalmente en la **Figura 110**, se muestra el área delimitada de acuerdo a los parámetros de funcionalidad y efectividad acumulada del 100% propuestos por Chen (1991). Concluyendo que en esta zona serán óptimos los procesos biológicos que se dan en la ronda.



**Figura 110.** Polígono de la ronda considerando los parámetros para una óptima funcionalidad  
 Fuente: PI Planificación Integral Consultores, 2019

### Cálculo de N

La relación entre la densidad y el área de drenaje, por unidad geomorfológica es lo que se denomina "N", esta relación busca explicar el patrón de drenaje y la morfología del territorio. Para estandarizar los resultados la guía técnica para el acotamiento de rondas hídricas en Colombia (MADS, 2018), propone la siguiente tabla.

**Tabla 55.** Valor de N según la cuenca y la densidad de drenaje

Área de cuenca aferente (km <sup>2</sup> )	Valor de N		
	Densidad drenaje		
	Baja < 1.5 km/km <sup>2</sup>	Media 1.5 - 3.0 km/km <sup>2</sup>	Alta > 3 km/km <sup>2</sup>
0 < A ≤ 1	2,0	1,5	1,0
1 < A ≤ 10	2,5	2,0	1,5
10 < A ≤ 100	3,0	2,5	2,0
100 < A ≤ 1000	3,5	3,0	2,5
1.000 < A ≤ 10.000	4,0	3,5	3,0
10.000 < A ≤ 100.000		4,0	

**Fuente:** Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia (MADS, 2018).

Dado que se encuentra una única unidad geomorfológica asociada a la quebrada La Esperanza (Ver **Figura 99**), el valor del parámetro N se calcula con base en la densidad de drenaje de esta unidad (ver **Figura 104**). Adicionalmente a partir de la anterior tabla, y considerando que la quebrada objeto de estudio no es un cuerpo de agua caudaloso, que posee una densidad de drenaje menor a 1.5km/km<sup>2</sup>, se le asigna el valor de 2 al parámetro N<sup>2</sup>.

### Polígono del componente ecosistémico

Una vez identificada la altura de la comunidad vegetal que presenta una mayor importancia fitosociológica dentro del área de estudio, y la densidad y el área de drenaje, por unidad geomorfológica, se hace la respectiva multiplicación de ambos valores con la finalidad de obtener el polígono que delimite la ronda hídrica desde el componente ecosistémico.

**Tabla 56.** Cálculo del componente ecosistémico para la ronda hídrica

Tramo 1	N*H (m)	Tramo 2	N*H (m)	Tramo 3	N*H (m)
<i>Citharexylum karstenii</i>	10	<i>Posoqueria sp.</i>	10	<i>Posoqueria sp.</i>	10
<i>Salix humboldtiana</i>	30	<i>Citharexylum karstenii</i>	10	<i>Citharexylum karstenii</i>	10
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	12,8	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	12,8	<i>Inga edulis</i>	16,2
<b>Promedio</b>	<b>17,60</b>	<b>Promedio</b>	<b>10,93</b>	<b>Promedio</b>	<b>12,07</b>

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

<sup>2</sup> La densidad de drenaje se encuentra asociada a una única unidad geomorfológica, por lo tanto, solo puede resultar un único valor de "N" para el área de estudio.

A partir de la **Tabla 56**, se puede decir que en la delimitación del componente ecosistémico por tramos se refleja que, hacia la parte alta de la ronda (ver Fotografía 20), la vegetación con más importancia fitosociológica cuenta con una altura mayor de las especies que se encuentran hacia la parte baja. No obstante, en la zona del tramo intermedio (Ver Fotografía 21) se encuentra que la flora en su mayoría es arbustiva, es en este tramo donde se halla la mayor actividad antrópica, incluso en las especies que se caracterizaron, se encontró *Musa paradisiaca*, conocida comúnmente como plátano.



**Fotografía 20.** Vegetación de la ronda en el tramo 1

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019



**Fotografía 21.** Vegetación de la ronda en el tramo 2

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

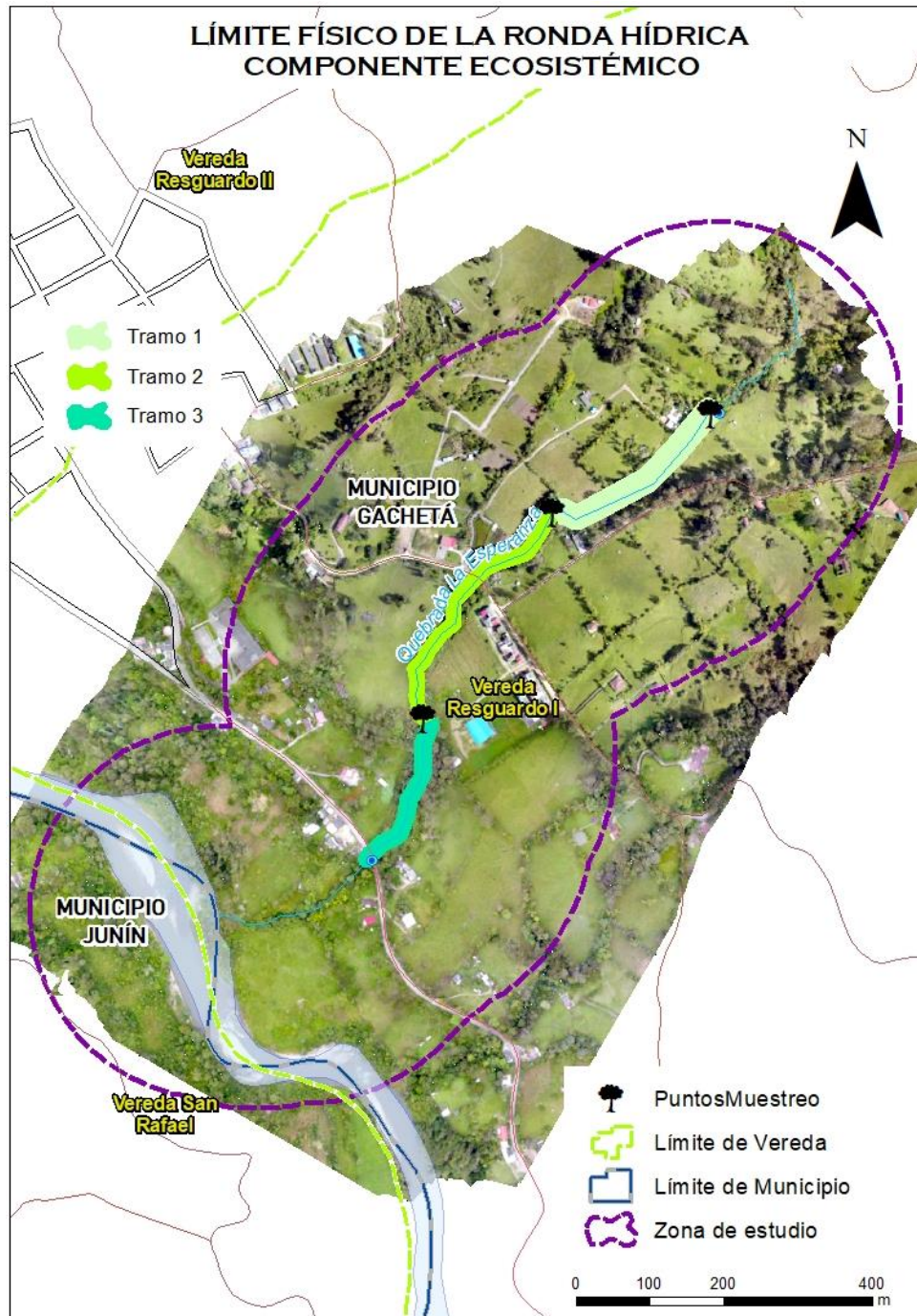
Respecto al tramo más bajo, cuando se realizó la parcela se encontró que la vegetación se conforma por arbustos y vegetación sucesional, con un grado bastante alto de intervención y adicional a eso, la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales de la urbanización, se encuentra presente en esta zona.



**Fotografía 22.** Vegetación de la ronda en el tramo 3

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Para finalizar, a continuación, se muestra el mapa con la delimitación de la ronda hídrica desde el componente ecosistémico.



**Figura 111.** Delimitación de la ronda hídrica desde el componente ecosistémico

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

## 7.4 Caracterización económica y social

Como ya se ha mencionado, el área de estudio se encuentra en el municipio de Gachetá – Cundinamarca, específicamente en la vereda Resguardo I. Este municipio localizado en la Provincia del Guavio, dista 100 Km de Bogotá y cuenta con aproximadamente 11.000 habitantes que ocupan mayoritariamente la zona rural del municipio. La economía se basa en las actividades agropecuarias, teniendo un importante protagonismo en el contexto regional, por ser la cabecera municipal más grande y con más servicios sociales.

En apartes anteriores se ha mencionado igualmente, que dentro de la vereda Resguardo I se encuentra la urbanización La Esperanza, área de influencia directa del presente estudio y sobre la cual se cifra el interés de brindar herramientas de planificación por parte de Corpoguavio, para apoyar la labor asociada con el ordenamiento territorial, en cabeza del municipio.

Para los fines del estudio, se realizó un censo poblacional detallado, el cual permitió reconocer no sólo el número de predios y la cantidad de habitantes en la vereda, sino que facilitó identificar las principales usos y costumbres de los pobladores. Dicho censo se puede observar en el Anexo 1 del presente informe y del mismo, se pueden destacar las siguientes cifras puntuales:

Número de predios: 157  
 Número de 59 personas encuestadas, 20 ausentes  
 93 viviendas (88 bloque, 3 bahareque, 2 prefabricadas)

263 habitantes dentro del área de estudio	Menores de 12 años	60
	Entre 12 y 20	35
	Entre 21 y 40	74
	Entre 41 y 60	61
	Adultos mayores	33

55 predios sin ningún uso aparente del suelo  
 72 predios son exclusivamente de uso residencial

	Integrantes	%
Las viviendas se encuentran conformadas por los siguientes números de personas	1a2	17,5
	3a5	65,1
	5a8	15,9
	Mas de 8	1,6

Dado que la caracterización económica, para este tipo de proyectos, tiene como fin definir el nivel o grado de intervención antrópica dentro del área de influencia de la ronda de la quebrada La Esperanza, las siguientes líneas indican las condiciones sociales imperantes.

#### 7.4.1 Usos de las zonas aledañas al cauce permanente

De acuerdo con la información descrita anteriormente en el componente ecosistémico, donde se describieron las coberturas y usos del suelo presentes en el área de estudio, se encuentra que las coberturas antropizadas comprenden 73.67 ha (56.3%) del buffer planteado, mientras que 32.17 ha (43.7%) se encuentra relacionado con áreas naturales (ver **Tabla 57**).

**Tabla 57.** Tipos de coberturas en el área de estudio

Tipo de cobertura	Área (ha)	Porcentaje (%)
Antropizadas	41,5	56,3
Naturales	32,17	43,7
<b>Total</b>	<b>73,67</b>	<b>100</b>

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

Dentro del área catalogada como antropizada, se encuentra que el 97% de dicha área se utiliza para el desarrollo de prácticas asociadas a la ganadería, el 3% se utiliza como asentamiento donde se encuentra ubicada la urbanización La Esperanza, y solamente el 1% se utiliza para cultivar de manera transitoria principalmente el maíz (ver **Tabla 58**).

**Tabla 58.** Usos del suelo en áreas antropizadas

Usos de áreas antropizadas	Área (ha)	Porcentaje (%)
Cultivos transitorios	0,2	0.5
Pastos para ganadería	40,1	96.7
Asentamientos	1,2	2.8
<b>Total</b>	<b>41,5</b>	<b>100</b>

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

#### 7.4.2 Niveles de ocupación y uso de los recursos naturales

Adicional a lo que se comentó en el numeral **1.2.2 Análisis de la información recolectada** se encuentra que el área de estudio tiene un nivel de ocupación del 56.3% principalmente destinado al desarrollo de actividades pecuarias. Respecto al uso de los recursos naturales, puede decirse que hay algunos predios quienes realizan aprovechamientos del agua proveniente de la quebrada La Esperanza para regar pastos ocasionalmente (ver **Tabla 4**), por otro lado, se reportó en el levantamiento de información predial que en otros predios realizan vertimientos en la quebrada.

A pesar de que no se evidenció en campo algún aprovechamiento forestal, durante el taller de socialización, asistentes mencionaron que la madera de ciertos árboles que se encontraban en la franja riparia se utilizaba para cercar ganado, como leña y para la elaboración de abrevaderos. No obstante, después de que realizaron una jornada de siembra en el año 2003, se generó conciencia de la importancia de la vegetación y disminuyó la cantidad de aprovechamientos forestales en la zona.

Para finalizar, lo que se refiere a patrones de asentamiento y uso del espacio público, se encuentra con detalle en el numeral **1.2.2** del presente documento denominado **Análisis de la información recolectada**.

## **7.5 Delimitación de la Ronda Hídrica**

Al sobreponer los 3 componentes previamente determinados, se define el límite funcional de la ronda hídrica. Como se puede apreciar en la siguiente **Figura 112**, el componente que envuelve los otros dos corresponde al ecosistémico.

Lo anterior puede explicarse debido a que el cauce permanente se encuentra bastante marcado en el relieve, y los resultados del modelo hidráulico, así lo comprueban. No obstante, a pesar de que la vegetación de la ronda evidencia un grado de antropización moderado, donde pueden observarse especies introducidas y otras nativas, propias de los ecosistemas naturales. Requiere de acciones de recuperación para asegurar la permanente funcionalidad de la ronda hídrica, tal y como se mostró con anterioridad en la **Figura 110**.

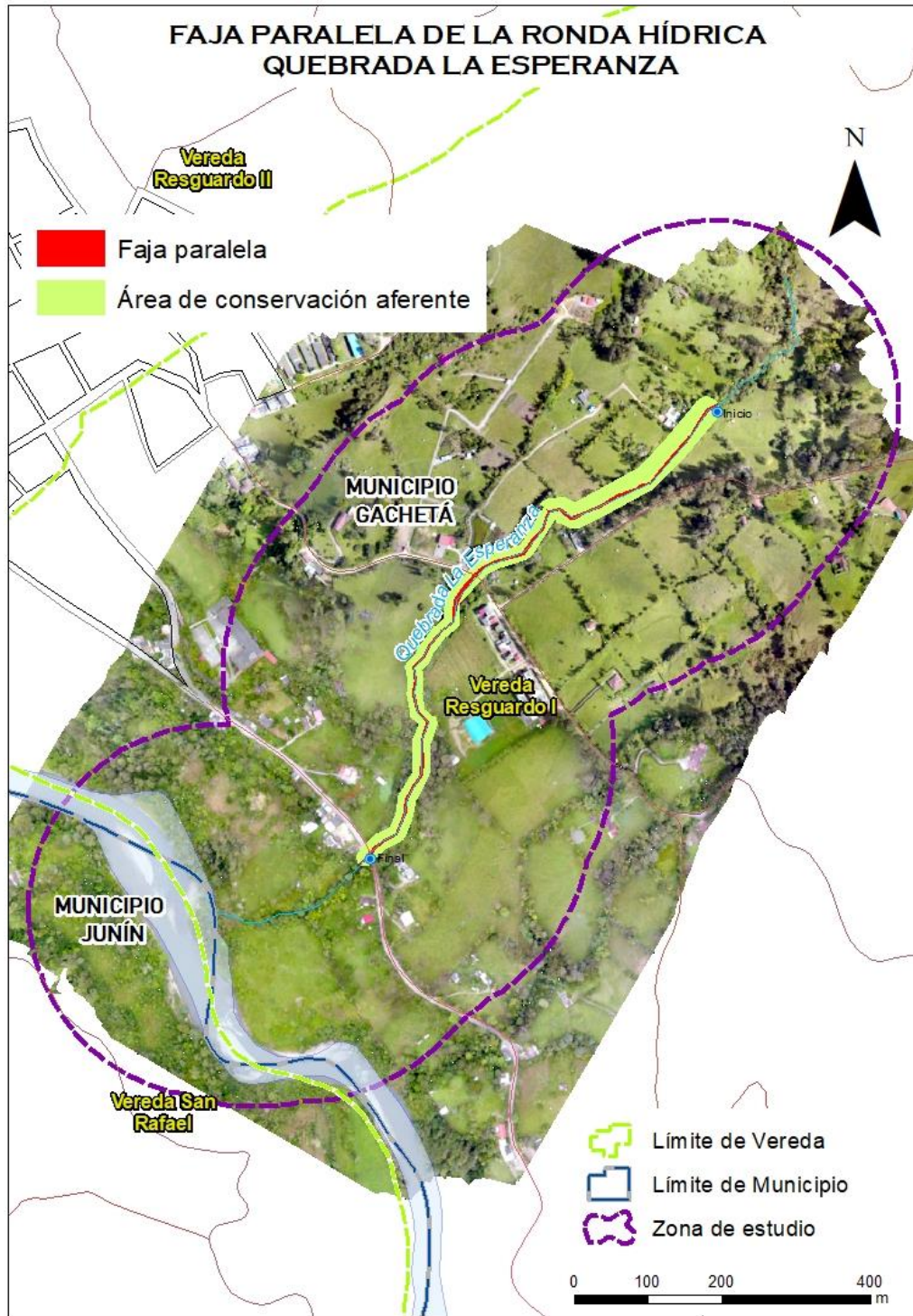


**Figura 112.** Envoltorio de los tres componentes de la ronda hídrica  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

### **7.5.1 Faja paralela y área de conservación aferente**

De acuerdo con los resultados del componente hidrológico y la guía para el acotamiento de rondas hídricas en la que se basa el presente estudio, se encuentra que, siguiendo los lineamientos del literal (d) del artículo 83 de decreto 2811 de 1974 que menciona que “la faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de los ríos, lagos hasta de treinta metros” es un bien inalienable e imprescriptible.

Ahora bien, en cuanto a la faja paralela del presente estudio, se puede decir que corresponde a la extensión determinada por el ancho del componente hidrológico, y el área de conservación aferente o también denominada área de protección en la guía técnica. Lo cual puede observarse en la figura a continuación.



**Figura 113.** Faja paralela y área de conservación aferente para la quebrada La Esperanza  
**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores, 2019

## FASE 8. ÁREAS DE MANEJO DE LA RONDA HÍDRICA

Luego de obtener el límite funcional de la ronda de la quebrada Esperanza, la faja paralela y definidas las zonas de protección, se pretenden establecer las medidas para el manejo de las zonas de protección de la misma. Para tal fin, se tienen en cuenta los criterios de preservación, restauración y uso sostenible que se definen a continuación según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2018):

- Preservación:

Consiste en mantener la composición, estructura y función de la biodiversidad, conforme a su dinámica natural y evitando los posibles disturbios que sean ocasionados de manera antrópica.

Zonas cuyo objetivo es mantener y garantizar la intangibilidad y la perpetuación de los recursos naturales dentro de espacios específicos. Serán espacios de preservación aquellos que contengan biomas o ecosistemas de especial significación para el municipio y la región, donde se permita la evolución natural de los procesos biológicos. El mantener la condición original de los recursos naturales de un área silvestre, reduciendo la intervención humana a un nivel mínimo, da la posibilidad de tener sectores especiales en los cuales se pueda realizar un uso no extractivo tendiente al logro de fines ambientales, sociales, científicos, educativos, recreativos o potencialmente económicos.

- Restauración:

Consiste en restablecer parcial o totalmente la composición, estructura y función de la biodiversidad, en áreas de la ronda hídrica que hayan sido alteradas o degradadas y que contribuyan a la conectividad ecológica.

La restauración como una forma de recuperación, debe operar por medio de la inducción de transformaciones ambientales en apoyo y en la dirección de las tendencias generales de la sucesión, lo que implica el manejo de factores físicos, bióticos y sociales. Aunque la restauración implica, por definición, un modelo de ecosistema original no alterado, como meta, no siempre se conduce exactamente así. En ciertos casos el objetivo puede ser la rehabilitación de una función del ecosistema por medio de la toma de decisiones administrativas y ambientales que restrinjan su uso.

- Uso Sostenible

En esta estrategia se incluyen las áreas que se encuentran en conflicto por uso de la tierra o grado de deterioro ambiental identificados tanto en la definición del límite funcional como la de servicios

ecosistémicos, así como en la que se puedan desarrollar actividades económicas que sean compatibles con la funcionalidad de los tres componentes de la ronda hídrica identificados.

Acorde a las definiciones anteriores, en la estrategia de preservación se incluirán las áreas de la ronda hídrica que por sus atributos deban ser preservadas evitando la ocupación humana, entre estas se incluyen las áreas de vegetación nativa y zonas de vegetación que permitan la evolución natural de los procesos biológicos, zonas de aprovechamiento de recursos biológicos y servicios ecosistémicos, áreas de recarga de acuíferos y el componente hidrológico de la ronda hídrica.

Respecto a la estrategia de restauración, debe enfocarse en áreas que ya han tenido algún tipo de intervención y que pueden restituirse a un estado previo al disturbio. Basados en relictos de vegetación nativa que brinden una percepción de cómo se encontraba el ecosistema antes de la intervención antrópica, según el Plan Nacional de Restauración esta estrategia se denomina enriquecimiento y suplementación del bosque, que consiste en la siembra de plantas nativas en una alta densidad buscando la mayor diversidad posible, manejando distancias de siembra de 2m x 3m (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Con fines de restauración se pueden implementar otras estrategias propuestas en dicho plan como:

- **Encerramiento del bosque:**

La finalidad de esta estrategia consiste en disminuir el impacto producido por el ganado en el interior del bosque, ya sea por apertura de caminos, compactación o por pisoteo de semillas y plántulas. La mayor parte de la ronda está abierta y es pertinente cerrar y mantener el bosque presente.

- **Conectividad a través de cercas vivas:**

Las cercas vivas favorecen la movilidad de algunas especies de fauna, muchas de estas especies como aves y murciélagos se consideran dispersores de semillas. Por lo general la mayoría de las plántulas que germinan bajo la línea de la cerca, la fortalecen permitiendo que se vaya ampliando la cerca y a su vez recuperando sectores que se han perdido.

- **Establecimiento de barreras:**

Con esta estrategia se busca disminuir los efectos de borde, facilitando la recuperación interna de los bosques. Una barrera densa de árboles y arbustos nativos, suele tener un efecto positivo en la recuperación del fragmento de bosque objeto de restauración.

## 8.1 Zonificación de manejo

Para identificar las zonas de manejo, se integraron y analizaron los diferentes aspectos físico bióticos encontrados, esto con la finalidad de caracterizar las unidades definidas en la ronda, que permitan visualizar la realidad del territorio en cuanto a su uso actual y su potencial para proveer bienes y servicios ambientales. A continuación, se describen los aspectos analizados para tal fin:

- Cobertura y uso de la tierra:

Se utilizó como principal insumo de análisis, ya que permite evidenciar la forma como se interviene la zona de ronda, y los usos que se están dando en el territorio, las áreas homogéneas, el grado de intervención antrópica y los sistemas productivos que se llevan a cabo en las zonas de ronda.

- Zonas de inundación:

Este criterio se utilizó debido a las afectaciones que puede ocasionar un evento de creciente del cuerpo de agua objeto de estudio, donde de acuerdo a los análisis realizados, son bajos. Lo anterior permite identificar las zonas donde debe existir un control estricto respecto a la prohibición de ocupación de la ronda, marcando pautas para establecer áreas de preservación, o en las que ya están ocupadas, establecer las zonas de restauración o de uso múltiple, según corresponda.

Para tal fin, en la **Figura 114** se pueden observar las zonas destinadas a preservación y restauración, que corresponden a áreas que pueden verse afectadas por fenómenos de inundación, o zonas que se encuentren en aceptables condiciones y que provean servicios ecosistémicos, respectivamente.

Finalmente, para definir las zonas de manejo sostenible se tienen en cuenta aquellas áreas de la ronda que se encuentran en conflicto por uso de la tierra o que producen cierto grado de deterioro ambiental en la zona delimitada. Los condicionamientos para estas, dependen de si representan alguna alteración de la funcionalidad de los componentes delimitados, en tal sentido si no representan una alteración, los condicionamientos serán menos restrictivos y la estrategia de manejo que debe tenerse en cuenta será la de uso sostenible.

Así las cosas, se define que la ronda hídrica contempla un total de **2,348 Ha**, categorizadas como zonas de protección y de uso sostenible (ver capítulo *iError! No se encuentra el origen de la referencia.*), estas se encuentran distribuidas como áreas de preservación (**2,212 Ha**) y restauración (**0,005 Ha**) que representan el **94,21%** y el **0,21%** respectivamente. Así mismo, se encuentran **0,131 Ha** en uso sostenible, que corresponden al **5,58%** restante.

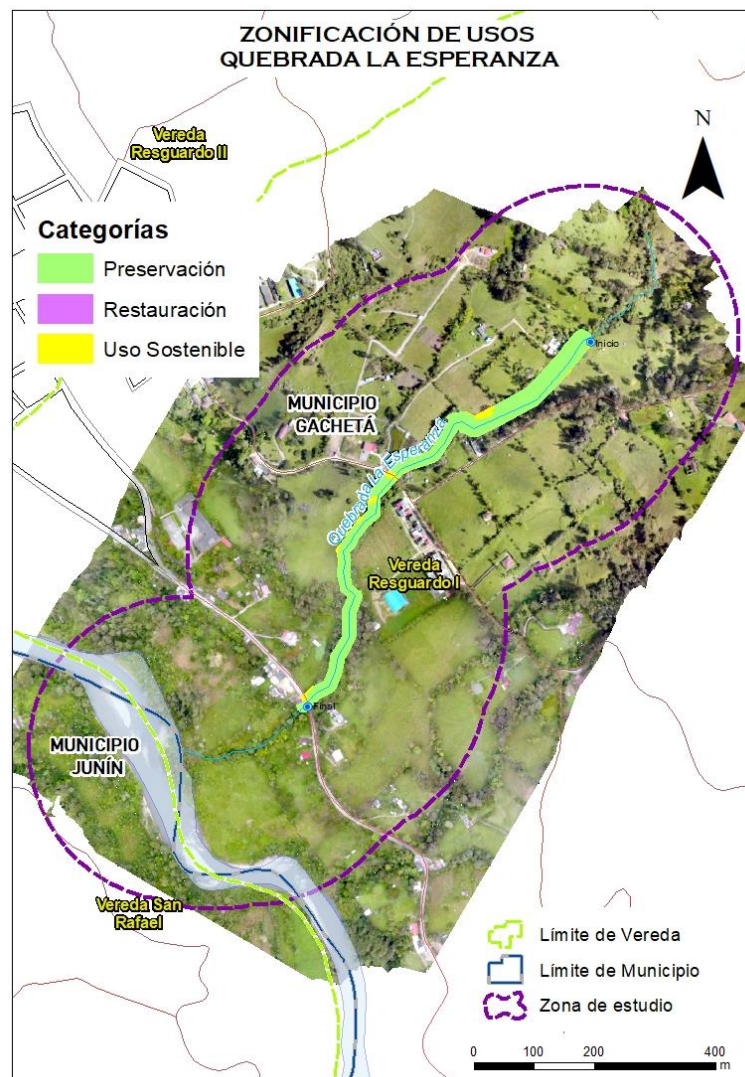
En la **Tabla 59** se presenta el porcentaje de las categorías producto de la zonificación realizada.

**Tabla 59.** Proporción de áreas por categoría de zonificación para la ronda hídrica definida

Categoría		Área (Ha)	Área (%)
Protección	Preservación	2,212	94,21
	Restauración	0,005	0,21
Uso Sostenible		0,131	5,58
<b>Total</b>		<b>2,348</b>	<b>100</b>

Fuente: PI Planificación Integral Consultores S.A.S, 2020

A continuación, en la **Figura 114** se presenta el resultado de la zonificación de las áreas de manejo de la quebrada Esperanza en el municipio de Gachetá.



**Figura 114.** Zonificación de manejo para la ronda hídrica definida de la quebrada Esperanza.

Fuente: PI Planificación Integral Consultores S.A.S, 2020

## 8.2 Compatibilidad de usos

Una vez definidas las zonas de manejo, se pretende que el proceso de zonificación sea exitoso, para ello se deben tener en cuenta los usos que serían compatibles y los que se restringen respecto a las áreas delimitadas tanto de preservación, como protección y de uso sostenible. De tal manera que a continuación se describen los diferentes usos propuestos acorde a la zonificación anteriormente descrita.

### 8.2.1 Zonas de preservación:

El objetivo que se plantea para estas zonas definidas para la preservación, es conservar la vegetación boscosa y de carácter ripario que se encuentra presente en el área delimitada de la ronda hídrica de la quebrada Esperanza, permitiendo la funcionalidad de los procesos ecológicos que se llevan a cabo, evitando el establecimiento de actividades antrópicas.

Para tal fin, los diferentes usos que se proponen acorde al conocimiento de las actividades que se llevan a cabo en la zona se muestran en la **Tabla 60**.

**Tabla 60.** Recomendaciones de uso para zonas de preservación

<b>Usos compatibles</b>	Conservación, establecimiento forestal y manejo integral, jardín botánico destinado a investigación científica y programas de monitoreo ambiental enfocados en la producción de conocimiento.
<b>Usos condicionados</b>	Turismo ecológico, educación ambiental y establecimiento de infraestructuras relacionadas con los usos compatibles, con ciertas restricciones.
<b>Usos prohibidos</b>	Ocupación del territorio para vivienda o fines urbanos, caza, pesca, explotación silvicultural, explotación agropecuaria y minera, disposición de residuos y demás usos que no se reportan como compatibles o condicionados se entienden como prohibidos.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores S.A.S, 2020

### 8.2.2 Zonas de restauración:

El objetivo de plantear este tipo de zonas, consiste en recuperar las áreas dentro del límite funcional de la ronda hídrica que impiden que se lleven a cabo los procesos naturales tanto ecosistémicos como geomorfológicos y/o hidrológicos.

Con esta finalidad se plantean los siguientes usos que permiten, mediante un proceso liderado por la Autoridad Ambiental y el municipio, se logre el objetivo anteriormente mencionado. Ver **Tabla 61**.

**Tabla 61.** Recomendaciones de uso para zonas de restauración

<b>Usos compatibles</b>	Reforestación con plantas nativas y rehabilitación de ecosistemas, educación ambiental, investigación, enriquecimiento y mejoramiento de hábitats, ecoturismo, bosque protector productor.
<b>Usos condicionados</b>	Aprovechamientos sostenibles de especies forestales, agricultura, recreación pasiva.
<b>Usos prohibidos</b>	Ocupación del territorio para vivienda o fines urbanos, explotación minera, tala y quema de bosques, ganadería, avícolas, disposición de residuos.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores S.A.S, 2020

### 8.2.3 Zonas de uso sostenible

Las zonas de uso sostenible se plantean con el objetivo de no expropiar a los dueños de predios que se encuentran en la zona de la ronda hídrica, pero si condicionarlos a que las actividades que se llevan a cabo en estas áreas, tengan relación directa con su sostenimiento ambiental.

Con este objetivo claro, se plantean los siguientes usos para las zonas destinadas a usos sostenibles. Ver **Tabla 62**.

**Tabla 62.** Recomendaciones de uso para zonas definidas de uso sostenible

<b>Usos compatibles</b>	Producción agropecuaria condicionada, aprovechamientos sostenibles de bajo impacto, ecoturismo, educación ambiental, recreación pasiva.
<b>Usos condicionados</b>	Vivienda campesina, aprovechamientos sostenibles de especies forestales, actividades pecuarias no intensivas, sistemas agroecológicos.
<b>Usos prohibidos</b>	Ganadería intensiva, cultivos que exijan mecanización, aplicación de pesticidas, minería, disposición de residuos, quemadas.

**Fuente:** PI Planificación Integral Consultores S.A.S, 2020

## Bibliografía

- A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. En: Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería 30, 1–10.
- Bernal, R., Gradstein, R., & Celis, M. (2016). Catalogo de plantas y líquenes de Colombia . Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia .
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J. y Coll,
- Bladé, E., Sánchez Juny, M., Sánchez H.P., Niñerola, D. y Gómez, M. (2009). Modelización numérica en ríos en régimen permanente y variable, Una visión a partir del modelo HEC-RAS. Barcelona: Edicions UPC.
- Calderón, D. (2017). El ordenamiento territorial para la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Territorios(36).
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES. "Inundaciones", México, 2014.
- Chen, J. (1991). Edge effects: microclimatic patterns and biological responses in old-growth Douglas-fir forests. Seattle: University of Washington.
- CHOW V.T., MAIDMENT D.R., MAYS L.W. "Applied Hydrology", McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, New York, U.S.A., 1988.
- CHOW, Ven T., "Handbook of Applied Hydrology", McGraw Hill Book Company, 1984.
- CORTÉS-DUQUE, J., & ESTUPIÑAN-SUARÉZ, L. (2016). Las Huellas del agua. Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales de Colombia. Bogotá, Colombia: Institución de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Fondo de Adaptación.
- Costa, P., Vaz, S., & Mendez, L. (2006). Degradación y perturbación ambiental en vegetación riparia: estudio de caso del río Itapicuru en la bahía de Filadelfia. Dialogos & Ciencia, 1-11.
- DOMÍNGUEZ, E. (2000). Protocolo para la modelación matemática de procesos hidrológicos. Meteorología Colombiana, 2, 33–38.
- DOMÍNGUEZ, E. (2015). Introducción a la hidroclimatología. Bogotá, D.C. Retrieved from [www.mathmodelling.org](http://www.mathmodelling.org)
- Finol, H. (1971). Nuevos parámetros a considerarse en el analisis estructural de las selvas virgenes trópicas. Revista forestal, 13(21), 29-42.
- HJELMFELT, Jr. A., CASSIDY, J. J., "Hydrology for Engineers and Planners", Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1976.

- Holdridge, L. (2000). Ecología basada en zonas de vida. San José: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura.
- IDEAM. (2014). Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM. Recuperado el 4 de Diciembre de 2019, de Coberturas de la tierra:  
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>
- IDEAM. (2017). Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia . Bogotá : Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM .
- MinAmbiente. (2014). Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá D.C.: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible .
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2018). GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA. Bogotá D.C.: MADS.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá D.C.: MADS.
- MONSALVE G., "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá D.C., julio de 1995.
- PONCE VICTOR M. "Engineering Hydrology, Principles and Practices", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1989.
- Posada, M., & Arroyave, M. (2015). Analisis de la calidad del retiro ribereño para el diseño de estrategias de restauración ecológica en el río La Miel, Caldas, Colombia. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia, 117-128.
- REMENEIRAS G., "Tratado de Hidrología Aplicada", Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona, España, 1974.
- Rodriguez, J., Perez, A., & Leyva, C. (2018). Caracterización estructural del bosque de galería de la estación experimental agroforestal de Guisa. Revista cubana de ciencias forestales , 45-57.
- U. S. Army Corps Engineers, (2000). "Hydrologic Modelling System HEC-HMS" Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachusetts.
- U. S. Army Corps Engineers, (2002). "Hydrologic Modelling System – River Analysis System HEC-RAS" Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachusetts.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Cordoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Mendoza, H., . . . Umaña, A. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad . Bogotá: Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt.