



Plan Parcial Aranda Central

Municipio de Pasto
Documento Técnico de Soporte
2.023

Plan Parcial Aranda Central

Secretaría de Planeación
Alcaldía municipal de Pasto

Documento Técnico de Soporte

Julio, 2.023

TABLA DE CONTENIDO |

1. MEMORIA JUSTIFICATIVA	13
1.1 PERTINENCIA DE LA FORMULACIÓN DEL PLAN PARCIAL ARANDA CENTRAL.....	13
1.2 LOCALIZACIÓN.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo General	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 DELIMITACIÓN DEL PLAN PARCIAL ARANDA CENTRAL.....	17
1.4.1 Delimitación del Suelo de Expansión Zona Nororiental Aranda	17
1.4.1 Criterios para la delimitación del Plan Parcial Aranda Central.....	20
1.4.1 Delimitación del Plan parcial Aranda Central	24
1.4.2 Identificación Predial.....	24
1.5 LINEAMIENTOS URBANÍSTICOS.....	28
1.5.1 Sistema de Servicios Públicos	29
1.5.2 Sistema de Movilidad	30
1.5.3 Sistema de Espacio Público	36
1.5.4 Sistema de Equipamientos.....	40
1.5.5 Norma de Usos y Aprovechamientos Urbanísticos	44
1.6 DETERMINANTES AMBIENTALES.....	49
1.6.1 Estructura ecológica municipal	49
1.7 BASE CARTOGRÁFICA – COMPONENTE GENERAL Y DE RIESGOS	50
1.7.1 Metodología.....	50
1.7.2 Fase 1. Recolección de información.....	52
1.7.3 Fase 2. Procesamiento de la Información.	53
1.7.4 Fase 3. Consolidación de la información.	54
1.7.5 Resultados.....	56
1.8 CARTOGRAFÍA ESTRUCTURA AMBIENTAL Y PROPUESTA URBANA	61
1.8.1 Consolidación de la estructura ambiental.....	61
1.8.2 Consolidación de los sistemas estructurantes y propuesta urbana.....	61
1.8.3 Parámetros de calidad del dato geográfico	64
2. ESTRUCTURA AMBIENTAL Y BIOFÍSICA	70

2.1	COMPONENTE AMBIENTAL DEL PLAN PARCIAL	70
2.1.1	Marco Geológico Regional.....	70
2.1.2	Geología Estructural	75
2.1.3	Unidades Geológicas Superficiales (UGS)	76
2.1.4	Unidades de geología para ingeniería (UGI).....	82
2.1.5	Unidades Geomorfológicas a Nivel Regional	86
2.1.6	Elementos Geomorfológicos	88
2.1.7	Sistema hídrico	93
2.1.8	Flora y fauna	104
2.1.9	Uso y cobertura del suelo	118
2.1.10	Estructura Ecológica Municipal.....	122
2.2	GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES	126
2.2.1	Riesgo por movimientos en masa.....	126
2.2.2	Amenaza Volcánica	159
2.2.3	Amenaza por subsidencia.....	159
2.2.4	Riesgo por inundaciones.....	162
2.2.5	Riesgo por flujo torrencial.....	224
3.	FORMULACIÓN.....	274
3.1	PLANTEAMIENTO URBANO.....	274
3.1.1	Concepto de diseño urbano	274
3.1.2	Sistema de servicios públicos	277
3.1.3	Sistema de Movilidad	290
3.1.4	Sistema de espacio público	297
3.1.5	Sistema de equipamientos	301
3.1.6	Norma urbanística	304
3.2	GESTIÓN, FINANCIACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA INTERVENCIÓN.....	326
3.2.1	Reparto de cargas y beneficios	326

Listado de Tablas

Tabla 1. Coordenadas del área de planificación correspondiente al Suelo de expansión Zona Nororiental Aranda	20
Tabla 2. Planes parciales en el ámbito del suelo de expansión Zona Nororiental Aranda ..	21
Tabla 3. Temas relevantes del ámbito de intervención – Plan parcial Aranda Central.....	24
Tabla 4. Identificación predial Plan Parcial Aranda Central	26
Tabla 5. Caracterización red vial.....	32
Tabla 6. Comparativo indicador Epef. 2014 – 2021	37
Tabla 7. Indicador de Epef, sector censal 27 – Sector Aranda	38
Tabla 8. Indicador de zonas verdes, sector censal 27 – Sector Aranda.....	38
Tabla 9. Equipamientos existentes en el sector Aranda – Comuna 10.....	41
Tabla 10. Equipamientos por población según estándar Equipo/habitante.	43
Tabla 11. Estándar área construida por habitante.	44
Tabla 12. Densidades de vivienda.....	46
Tabla 13. Clasificación de Salitchev.....	53
Tabla 14. Productos obtenidos de recolección de información.....	57
Tabla 15. Parámetros sistema de referencia espacial.....	57
Tabla 16. Descripción de procesos.....	58
Tabla 17. Elementos consolidados.....	61
Tabla 18. Capas Cartográficas Generadas de la estructura ambiental.	61
Tabla 19. Capas Cartográficas de los sistemas estructurantes y propuesta urbana.	62
Tabla 20. Reglas Topológicas aplicadas a Polígono.....	68
Tabla 21. Reglas Topológicas aplicadas a Líneas.	69
Tabla 22. Reglas Topológicas aplicadas a Puntos.....	69
Tabla 23. Índice de Objetos.	70
Tabla 24. Índice de inclinación de ladera.....	88
Tabla 25. Zonificación Hidrográfica del área de estudio	93
Tabla 26. Calificación ICA	97
Tabla 27. ICA año lluvioso Juanambú – Metodología IDEAM.....	98
Tabla 28. Profundidad nivel freático	102
Tabla 29. Especies leñosas perennes corregimiento de Morasurco	109
Tabla 30. Especies leñosas Parque Ambiental tecnológico Antanas, Vereda Josefina, Morasurco	111

Tabla 31. Inventario Avifauna en Parque Ambiental Antanas, CORPONARIÑO y Parque Reserva Janacatú.....	116
Tabla 32. Inventario Herpetofauna en Parque Ambiental Antanas, CORPONARIÑO y Parque Reserva Janacatú.....	117
Tabla 33. Inventario Insectos en Parque Ambiental Antanas, CORPONARIÑO y Parque Reserva Janacatú.....	118
Tabla 34. Coberturas del suelo predio Aranda	119
Tabla 35. Estructura Ecológica predio Aranda	122
Tabla 36. Localización de los sondeos realizados en el área de interés	128
Tabla 37. Estimación de parámetros de resistencia de materiales tipo suelo a partir de SPT	130
Tabla 38. Total de ensayos de laboratorio	130
Tabla 39. Resultados de los ensayos de resistencia y densidad.....	131
Tabla 40. Localización de líneas de refracción sísmica.....	131
Tabla 41. Características geomecánicas de materiales.....	135
Tabla 42. Actualización nombre materiales.....	135
Tabla 43. Ponderación de variables en análisis de susceptibilidad.....	139
Tabla 44. Clasificación de la amenaza	147
Tabla 45. Elementos expuestos	151
Tabla 46. Zonas de exposición	153
Tabla 47. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales	155
Tabla 48. Clasificación de la vulnerabilidad para personas.....	155
Tabla 49. Categorización del riesgo de bienes físicos	157
Tabla 50. Categorización del riesgo de bienes físicos y personas.....	157
Tabla 51. Kn para prueba de datos atípicos de Chow.	169
Tabla 52. Reclasificación uso hidrológico del suelo.	178
Tabla 53. Valores de CN según uso de suelo.	178
Tabla 54. Coeficiente de rugosidad n de Manning en superficie.....	182
Tabla 55. Nivel de Intensidad por inundaciones.....	183
Tabla 56. Nivel de amenaza por Inundaciones.....	183
Tabla 57. Definición de las categorías de Amenaza por Inundaciones.	184
Tabla 58. Características fisiográficas de las cuencas en estudio.	184
Tabla 59. Cálculo del tiempo de concentración para las cuencas de aporte.....	186

Tabla 60. Coordenadas geográficas, sistema de referencia Magna Colombia Oeste, estaciones meteorológicas en estudio.	189
Tabla 61. Serie de Precipitaciones Máximas Diarias.....	191
Tabla 62. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Wilquipamba.	192
Tabla 63. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Universidad de Nariño...	192
Tabla 64. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Wilquipamba.	194
Tabla 65. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Universidad de Nariño.	194
Tabla 66. Valores de Error Estándar de Ajuste de las distribuciones que mejor representan a los datos de la estación Wilquipamba.	195
Tabla 67. Valores de Error Estándar de Ajuste de las distribuciones que mejor representan a los datos de la estación Universidad de Nariño.	196
Tabla 68. Precipitación [mm] asociados a distintos tiempos de retorno. Estación Wilquipamba. Distribución: Gumbel ajustada por Momentos.	197
Tabla 69. Precipitación [mm] asociados a distintos tiempos de retorno. Estación Universidad de Nariño. Distribución: Exponencial β y X_0 ajustada por Máxima verosimilitud.	197
Tabla 70. Coeficientes para diferentes tiempos de retorno, estación Obonuco.	198
Tabla 71. Hietograma de Proyecto cuencas La Merced y La Magdalena, Tiempo Retorno 2 años.	199
Tabla 72. Hietograma de Proyecto cuenca La Rusia, Tiempo Retorno 2 años.	200
Tabla 73. Hidrograma de salida cuenca La Merced, TR de 2 años.....	202
Tabla 74. Resumen de caudales líquidos cuenca La Merced, asociados a diferentes tiempos de retorno.	203
Tabla 75. Hidrograma de salida cuenca La Rusia, TR de 2 años.....	205
<i>Tabla 76. Resumen de caudales líquidos cuenca La Rusia, asociados a diferentes tiempos de retorno.</i>	<i>206</i>
<i>Tabla 77. Hidrograma de salida cuenca La Magdalena, TR de 2 años.</i>	<i>207</i>
Tabla 78. Resumen de caudales líquidos cuenca La Magdalena, asociados a diferentes tiempos de retorno.	209
Tabla 79. Tipo y características de los flujos de lodos.	230
Tabla 80. Categorías propuestas de acuerdo con el valor de IDF obtenido de las curvas de amenaza.....	234
Tabla 81. Categorías propuestas de acuerdo con valor de probabilidad obtenido de las curvas de amenaza.	235
Tabla 82. Agregación de resultados con los diferentes clasificación.	235
Tabla 83. Índices de Melton.....	236
<i>Tabla 84. Relación de relieve.</i>	<i>236</i>

Tabla 85. Resumen de índices de torrencialidad y tipo de flujo para Colombia.	238
Tabla 86. Volúmenes líquidos para cada tiempo de retorno.	239
Tabla 87. Volúmenes área 1 – Cuenca La Merced.....	240
Tabla 88. Volúmenes área 2-Cuenca La Merced.	245
Tabla 89. Volúmenes área 3 - Cuenca La Merced.	246
Tabla 90. Volúmenes área 4 - Cuenca La Rusia.	246
Tabla 91. Volúmenes de áreas aportantes de material sólido.	247
Tabla 92. Factor de Seguridad de las áreas de posible deslizamiento.	247
Tabla 93. Volumen sólido y coeficientes volumétricos.	247
Tabla 94. Parámetros de resistencia de flujo laminar.....	248
Tabla 95. Propiedades de las matrices de flujo de lodo (solo limos y arcillas).	249
Tabla 96. Coeficientes de correlación de Glenwood Sample 4 Viscosidad τ_y , y η (FLO2D, 2018).	249
Tabla 97. Clasificación y caracterización de elementos expuestos y su afectación.....	265
Tabla 98. Escenario o zona de exposición.....	266
Tabla 99. Factor de fragilidad por el tipo de estructura (Stip)	266
Tabla 100. Valores de Intensidad en cada bocatomía.	266
Tabla 101. Clasificación de vulnerabilidad.	267
Tabla 102. Vulnerabilidad inundación y flujo torrencial.....	267
Tabla 103. Matriz de valoración para estructuras de riesgo cualitativo para movimientos de masa flujo torrencial e inundación.....	268
Tabla 104. Valoración de riesgos en estructuras y redes.....	268
<i>Tabla 105. Presupuesto Medidas de Mitigación</i>	273
Tabla 95. Áreas y cesiones del subsistema de infraestructura vial	291
Tabla 96. Suelo para espacio público - PP Aranda Central.....	297
Tabla 97. Aporte a la ampliación del indicador de Epef PP Aranda Central	300
Tabla 98. Suelo de cesión local para nuevo Epef	301
Tabla 99. Suelo para nuevos equipamientos	303
Tabla 100. Cálculo de áreas para equipamientos en relación con estándares de calidad	303
Tabla 102. Usos del suelo Plan Parcial Aranda Central.....	324
Tabla 103. Exigencias de parqueaderos para vivienda	325
Tabla 104. Exigencias de parqueaderos para otros usos	325

Listado de Figuras

Figura 1. Construcción base cartográfica escala 1:2000.....	51
Figura 2. Organigrama de Información.	54
Figura 3. Esquema consolidación de información.	55
Figura 4. Esquema consolidación de información temática.....	56
Figura 5. Diagrama de consolidación.....	59
Figura 6. Geología estructural de la zona de estudio.....	75
Figura 7. Distribución de UGS. Fuente: Este estudio. SPM 2023	78
Figura 8. Caídas piroclásticas.....	79
Figura 9. Flujo de lavas del Volcán Morasurco	80
Figura 10. Depósito coluvial.....	81
Figura 11. Depósito antrópico año 2016	81
Figura 12. Distribución de Unidades de Geología para Ingeniería en el área de estudio. Fuente: Este estudio. SPM 2023.....	84
Figura 13. Depósito coluvial Fuente: CIDETER, 2017.....	86
Figura 14. Distribución de los elementos geomorfológicos de la zona de estudio. Fuente: Este estudio. SPM 2023.....	91
<i>Figura 15. Localización puntos de exploración geotécnica.....</i>	<i>102</i>
Figura 16. Metodología para análisis de movimientos en masa	127
Figura 17. Resultados Línea de Refracción Sísmica LRS-4.....	134
Figura 18. Resultados Línea de Refracción Sísmica LRS-5.....	134
Figura 19. Curvas intensidad duración frecuencia IDF.	141
Figura 20. Curvas de amenaza uniforme sísmica para Pasto.	142
Figura 21. Registro histórico de sismos - Pasto.	143
Figura 22. Análisis estático en condición normal para el perfil 7.....	146
Figura 23. Análisis pseudoestático en condición extrema para el perfil 7 con un Tr de 31 años ($\alpha_c = 0.06 \text{ m/s}^2$).	146
Figura 24. Análisis cinemático de roca para falla planar, probabilidad 12%.	147
Figura 25. Zonificación de la amenaza por movimiento en masa.....	152
Figura 26. Región de rechazo y aceptación en la distribución normal.	168
<i>Figura 27. Atenuación areal.</i>	<i>176</i>
<i>Figura 28. Hidrogramas unitarios triangular del SCS.</i>	<i>179</i>
Figura 29. Esquema de rutas de trabajo para cada celda.	180

Figura 30. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Wilquipamba.	193
Figura 31. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Universidad de Nariño.	193
Figura 32. Ajuste gráfico de la distribución Exponencial X_0 y β ajustada por Momentos. .	195
Figura 33. Ajuste gráfico de la distribución Exponencial β y X_0 ajustada por Máxima verosimilitud.	196
Figura 34. Hietograma de Proyecto Cuencas La Merced y La Magdalena, TR 2 años.	199
Figura 35. Hietograma de Proyecto cuencas La Merced y La Magdalena, TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.	199
Figura 36. Hietograma de Proyecto Cuenca La Rusia, TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.	200
Figura 37. Coberturas de suelo cuencas de aporte Plan Parcial Aranda centro.	201
Figura 38. Caudal máximo cuenca La Merced, para una lluvia de TR 2 años.	203
Figura 39. Hidrogramas para diferentes tiempos de retorno – cuenca La Merced.	203
Figura 40. Caudal máximo cuenca La Rusia, para una lluvia de TR 2 años.	204
Figura 41. Hidrogramas para diferentes tiempos de retorno – cuenca La Rusia.	206
<i>Figura 42. Caudal máximo cuenca La Magdalena, para una lluvia de TR 2 años.</i>	<i>208</i>
<i>Figura 43. Hidrogramas para diferentes tiempos de retorno – cuenca La Magdalena.</i>	<i>208</i>
Figura 44. Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río.	225
Figura 45. Clasificación flujos torrenciales.	231
Figura 46. Curva hipsométrica cuenca La Merced.	237
Figura 47. Curva hipsométrica cuenca La Rusia.	237
Figura 48. Curva hipsométrica cuenca La Magdalena.	238
Figura 49. Áreas de deslizamientos.	241
Figura 50. Clasificación no supervisada.	242
Figura 51. Redes Irregulares de Triángulos.	243
Figura 52. Diferencia de Superficies.	244
Figura 53. Punto aleatorio de ajuste curva de amenaza fenómeno avenidas torrenciales – La Merced.	262
Figura 54. Punto aleatorio de ajuste curva de amenaza fenómeno avenidas torrenciales – La Rusia.	262
Figura 55. Punto aleatorio de ajuste curva de amenaza fenómeno avenidas torrenciales – La Magdalena.	263
Figura 56. Curva de fragilidad de elementos expuestos.	267

Listado de Mapas

Mapa 1. Localización Plan Parcial Aranda Central	15
Mapa 2. Plano EE7 Planes Parciales. POT Pasto.....	18
Mapa 3. Localización, delimitación y contexto del Plan Parcial Aranda Central.....	23
Mapa 4. Localización e identificación predial	27
Mapa 5. Subsistema de infraestructura vial POT Pasto 2015	33
Mapa 6. Rutas de Transporte Público Urbanas y Suburbanas SETP	35
Mapa 7. Inventario de Espacio Público en el área de influencia del Plan Parcial Aranda Central.....	39
Mapa 8. Inventario de Espacio Público en el área de influencia del Plan Parcial Aranda Central.....	42
Mapa 9. Geología regional de la zona de estudio.....	72
Mapa 10. Unidades geológicas superficiales (UGS) de la zona de estudio	74
Mapa 11. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales. Fuente: Este estudio. SPM 2023 ..	77
Mapa 12. Mapa de Unidades de Geología para Ingeniería. Fuente: Este estudio. SPM 2023	83
Mapa 13. Unidades geomorfológicas a nivel regional.....	87
Mapa 14. Mapa de pendientes.....	89
Mapa 15. Mapa de elementos geomorfológicos	90
Mapa 16. Zonificación Hidrográfica	94
Mapa 17. Niveles freáticos.....	103
Mapa 18. Zonas de vida	105
Mapa 19. Cobertura del suelo	121
Mapa 20. Estructura Ecológica	123
Mapa 21. Sondeos realizados	129
Mapa 22. Líneas LRS	132
Mapa 23. Ubicación de movimiento en masa catálogo de SIMMA.....	137
Mapa 24. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa.....	140
Mapa 25. Ubicación de los perfiles y talud analizados	144
Mapa 26. Mapa zonificación de amenaza por movimientos en masa.....	149
Mapa 27. Mapa de vulnerabilidad por movimiento en masa.	156
Mapa 28. Zonificación de riesgo por movimiento en masa.	158
Mapa 29. Amenaza volcánica Volcán Galeras. Fuente: Adaptado de SGC 2015	160

Mapa 30. Zonas de condición de riesgo por subsidencia.	161
Mapa 31. Delimitación cuencas de aporte al predio de estudio.	185
Mapa 32. Geología para ingeniería del área de estudio.	187
Mapa 33. Geomorfología del área de estudio.	188
Mapa 34. Localización geográfica estaciones IDEAM cercanas al área de estudio.	190
Mapa 35. Profundidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Merced.	210
Mapa 36. Resultados de profundidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Merced.	211
Mapa 37. Resultados de velocidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Merced.	212
Mapa 38. Resultados de velocidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Merced.	213
Mapa 39. Profundidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Rusia.	214
Mapa 40. Resultados de profundidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Rusia.	215
Mapa 41. Resultados de velocidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Rusia.	216
Mapa 42. Resultados de velocidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Rusia.	217
Mapa 43. Profundidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Magdalena.	218
Mapa 44. Resultados de profundidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Magdalena.	219
Mapa 45. Resultados de velocidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Magdalena.	220
Mapa 46. Resultados de velocidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Magdalena.	221
Mapa 47. Amenaza por inundación PPAC.	222
Mapa 48. Zonificación de Riesgo por inundaciones.	223
Mapa 49. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Merced.	250
Mapa 50. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – La Merced.	251
Mapa 51. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Merced.	252
Mapa 52. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – La Merced.	253
Mapa 53. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Rusia.	254

Mapa 54. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – La Rusia.	255
Mapa 55. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Rusia.	256
Mapa 56. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – La Rusia.	257
Mapa 57. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – Magdalena.	258
Mapa 58. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – Magdalena.	259
Mapa 59. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – Magdalena.	260
Mapa 60. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – Magdalena.	261
Mapa 61. Zonificación de amenaza producto de la agregación de las zonificaciones con los dos diferentes criterios mencionados – Cuencas de aporte.	264
Mapa 62. Zonificación de Riesgo.	269
Mapa 63. Medidas Estructurales Mitigación de Riesgo por inundación y flujo Torrencial. .	272
Mapa 64. Propuesta urbanística.....	276
Mapa 65. Trazado de la red de acueducto Plan Parcial Aranda Central.	280
Mapa 66. Red de alcantarillado sanitario Plan Parcial Aranda Central.....	283
Mapa 67. Red de alcantarillado sanitario Plan Parcial Aranda Central.....	285
Mapa 68. Sistema de movilidad	292
Mapa 69. Sistema de espacio público	298
Mapa 70. Suelo de protección	299
Mapa 71. Sistema de equipamientos	302
Mapa 72. Mapa de usos permitidos por Unidad de Gestión.....	306

1. MEMORIA JUSTIFICATIVA

Los planes parciales son los instrumentos mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones de los planes de ordenamiento, para las áreas clasificadas como suelo de expansión urbana, además de las que deban desarrollarse mediante unidades de actuación urbanística, macroyectos u otras operaciones urbanas especiales, de acuerdo con disposiciones emanadas de las normas urbanísticas generales.

De acuerdo con la Ley 388 de 1997 en su artículo 19. Planes parciales; mediante el Plan Parcial se establece el aprovechamiento de los espacios privados, con la asignación de sus usos específicos, intensidades de uso y edificabilidad, así como con las obligaciones de cesión, construcción y dotación de equipamientos, espacios y servicios públicos, que permitirán la ejecución asociada de los proyectos específicos de urbanización y construcción de los terrenos incluidos en su ámbito de planificación.

El Acuerdo 004 de 2015 mediante el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial, "Pasto Territorio Con -Sentido y consecuentemente el modelo de ocupación con enfoque de sostenibilidad que optimiza los sistemas urbanos; los planes parciales se constituyen en instrumentos idóneos para transformar suelo de expansión urbana en suelo urbano de desarrollo en zonas especiales con potencial para el fortalecimiento del modelo de ordenamiento territorial.

En este caso en particular, la formulación del Plan Parcial Aranda Central, se pretende integrar al desarrollo urbano suelo para vivienda, espacio público y uso industrial en un área conectada con la ciudad y la vía Paso nacional por Pasto. En dicha área de planificación, el municipio podrá realizar proyectos estratégicos, enfocados en desarrollos de usos institucionales, comerciales y de vivienda orientados a disminuir déficits, reequilibrar los sistemas urbanos y fortalecer la centralidad Aranda garantizando mayor dinamismo y calidad de vida de los habitantes del sector.

1.1 PERTINENCIA DE LA FORMULACIÓN DEL PLAN PARCIAL ARANDA CENTRAL

Desde el año 2000 y en concordancia con lo establecido por el artículo 32 de la Ley 388 de 1997, el Acuerdo 007 del 28 de junio de 2.000 mediante el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial "Pasto 2.012 Realidad Posible" define la clasificación del suelo de expansión urbana determinando como tal, a la "zona de Expansión Nor-Oriental (San Antonio de Aranda)".

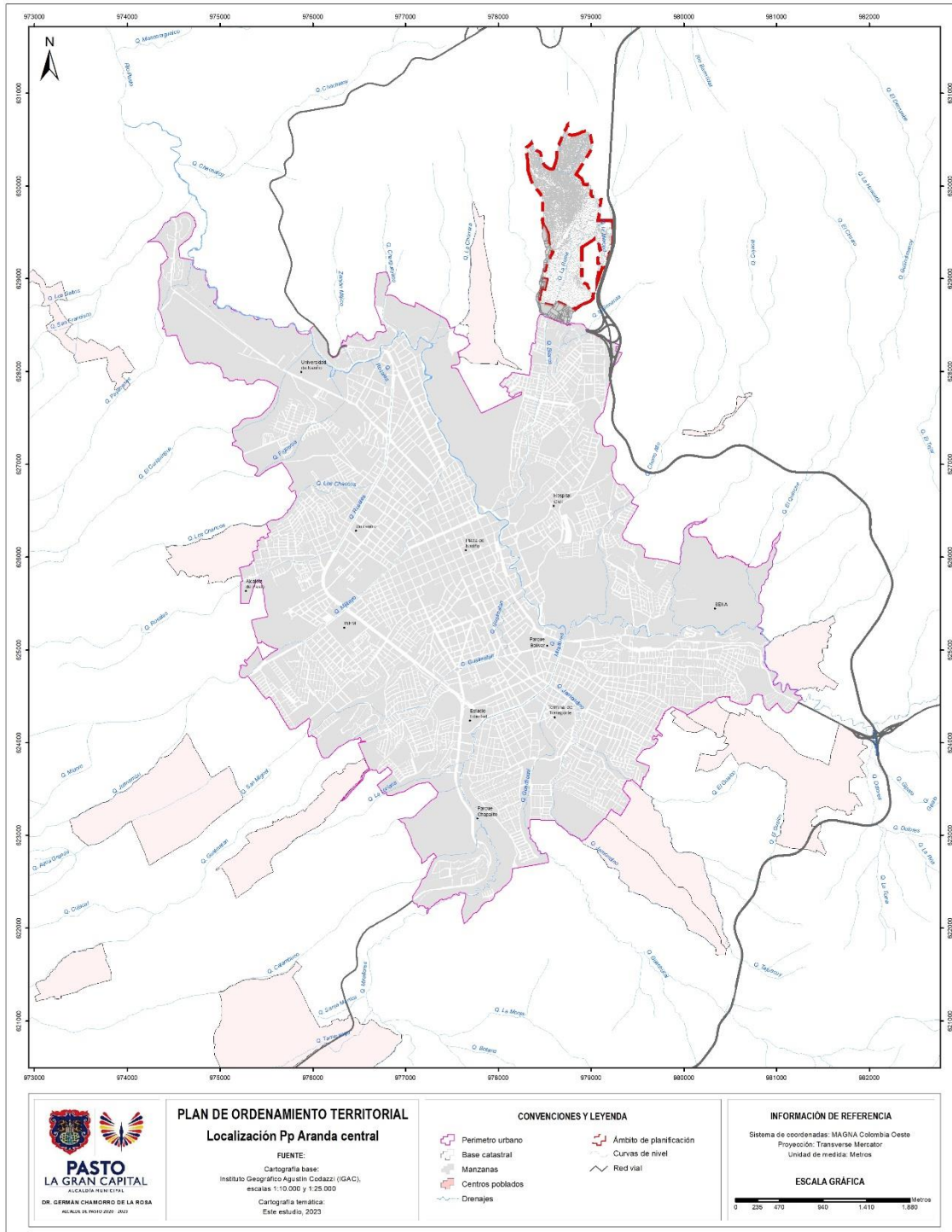
Dicha localización no tuvo variación en las disposiciones adoptadas por el Decreto 0084 de 2.003 y en el año 2.009 con la expedición del Acuerdo 026 de 2009 se ratifica al sector nororiental Aranda como suelo de expansión. En concordancia con lo establecido en el Decreto 2181 de 2006 y 4300 de 2007, su desarrollo se encuentra supeditado a la formulación y adopción de un Plan Parcial cuya delimitación fue espacializada en el plano No. 11 adoptado por el acto administrativo en mención. El Artículo 22 del mismo acuerdo determina su formulación como un proyecto especial para el desarrollo de vivienda Social y, el artículo 137, define como objetivo de la formulación del Plan Parcial Zona de Expansión Nororiental Aranda, "Incorporar el suelo de expansión a suelo urbano en el sector nororiental de la ciudad, desarrollando sistemas locales de espacio público, movilidad,

equipamiento urbano, recursos naturales y servicios públicos integrados a la vivienda social y de otros tipos”.

En 2013, con la puesta en marcha de la Fase II del proyecto Piedras mediante el cual se potencializa el sistema de acueducto y el abastecimiento de agua para Pasto, se ratifica su clasificación; el Acuerdo 004 de 2015 que adopta el Plan de Ordenamiento Territorial “Pasto, Territorio Con Sentido” vigente a la fecha, clasifica como suelo de expansión urbana a la Zona de expansión Aranda posterior a estudios que justifican la necesidad de incorporar suelo de expansión al suelo urbano y con criterios que apuntan al logro de las políticas, objetivos y estrategias de carácter general para concretar el modelo de ocupación adoptado.

1.2 LOCALIZACIÓN

El ámbito de formulación del Plan Parcial “Aranda Centro” se localiza en el departamento de Nariño, municipio de Pasto al nororiente de la ciudad, en proximidad con la vía Paso Nacional por Pasto; vía de primer orden que conecta al municipio con el norte y sur oriente del país y al sur con el Ecuador. El ámbito del plan parcial limita al occidente con predios de suelo de expansión en el mismo sector de Aranda y del centro poblado y suelo urbano del sector Tescual, área que igualmente está en proceso de desarrollo con potencial para articular funcionalmente el área del plan con el norte de la ciudad consolidada. Hacia el sur, el ámbito del Plan Parcial Aranda Central, limita con el centro poblado de Aranda y la ciudad consolidada caracterizada por su desarrollo urbano especialmente con usos residenciales, servicios y comercio local.



Mapa 1. Localización Plan Parcial Aranda Central
Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

1.3 OBJETIVOS

En concordancia con los objetivos del POT y teniendo en cuenta la importancia del rol del suelo de expansión de Aranda dentro del contexto urbano y regional, se plantean los siguientes objetivos con el fin de articular de manera efectiva el ordenamiento territorial con la gestión de suelo y cumplir con el propósito de garantizar un desarrollo territorial integral consecuente con la política y el modelo de ocupación del territorio adoptada por el Acuerdo 004 de 2015.

1.3.1 Objetivo General

El objetivo principal del Plan parcial Aranda Central, es planificar el desarrollo del suelo de expansión Aranda, para que se integre de manera armónica con la ciudad consolidada, fortaleciendo su carácter de borde en el desarrollo urbano-territorial consecuentemente con el modelo de la ocupación territorial. Dada su estratégica localización, se plantea obtener el mayor potencial de desarrollo integrando suelo urbano para vivienda, espacio público, usos institucionales, comerciales, de servicios e industriales que aseguren las óptimas condiciones de habitabilidad, en un área conectada con la ciudad y la vía de primer orden, Paso nacional por Pasto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Conservar, proteger y manejar los elementos naturales, ambientales o paisajísticos definiendo medidas específicas de protección para evitar su alteración o destrucción.
- Generar espacio público efectivo por cesión destinado a parques de borde suburbano y de escala local que aporten a la reducción del déficit de espacio público urbano.
- Proyectar infraestructura vial para el área de intervención con base en el modelo de supermanzana adoptado para el POT Pasto, consolidando la malla vial jerarquizada y articulada del sector nororiental de la ciudad en conexión con la vía de primer orden Paso nacional por Pasto y la red vial de la ciudad consolidada.
- Generar suelo para equipamientos urbanos que aporten a la consolidación de la política de acceso a los servicios.
- Incorporar al proyecto el diseño de redes de servicios públicos cuya ejecución permita la adecuada gestión, distribución y manejo sostenible del agua, así como la definición de las condiciones para el manejo integral de vertimientos líquidos y de residuos sólidos y peligrosos, garantizando la no contaminación fuentes hídricas.
- Incorporar suelo de expansión al suelo urbano con usos residenciales e industriales.
- Definir el conjunto de normas urbanísticas en cuanto a asignación de usos, edificabilidad y obligaciones urbanísticas, que permitan adelantar los procesos de urbanización y construcción, de acuerdo con el modelo de ocupación planteado.

- Establecer las condiciones urbanísticas, de gestión y de financiación para el desarrollo de este sector, garantizando las óptimas condiciones de habitabilidad.
- Garantizar el sistema de reparto equitativo de cargas y beneficios en el área de intervención.

1.4 DELIMITACIÓN DEL PLAN PARCIAL ARANDA CENTRAL

1.4.1 Delimitación del Suelo de Expansión Zona Nororiental Aranda

El ámbito de formulación del Plan Parcial Aranda Central, hace parte de un gran polígono clasificado mediante el Acuerdo 007 de 2015 como suelo de expansión urbana denominado Zona Nororiental Aranda cuya delimitación se encuentra en el plano EE7. Planes parciales que hace parte integral de POT Pasto.

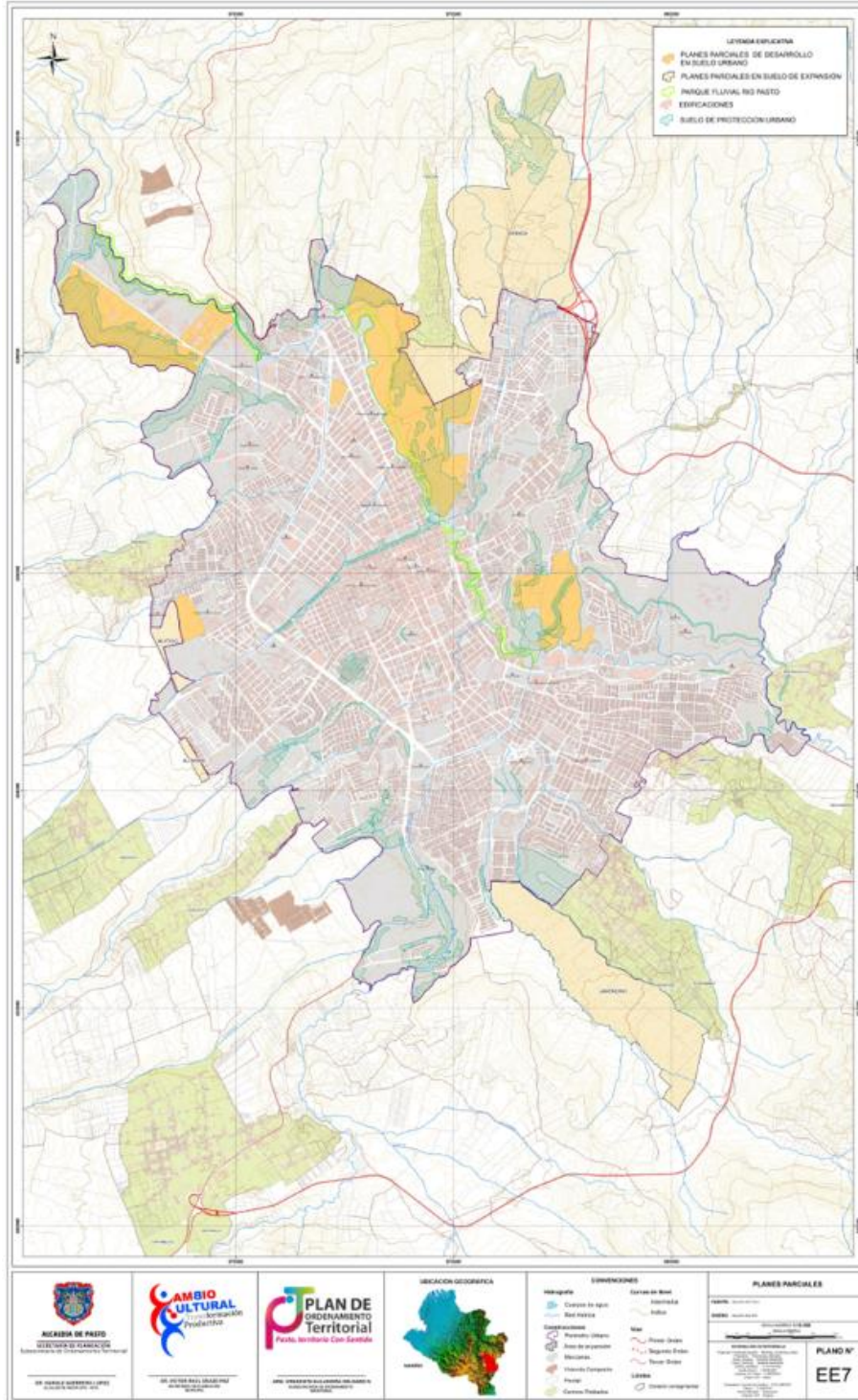
El suelo de expansión *Zona Nororiental Aranda* cuenta con un área bruta de 205.03 hectáreas de suelo localizado específicamente en la zona denominada Aranda, situada al norte de la cabecera municipal, delimitada al oriente por la carretera Paso Nacional Pasto, trazada como una vía perimetral de primer orden, cuya importancia está determinada por constituir la principal entrada a la ciudad del transporte procedente del norte del país (Cali y Popayán), con la ciudad de Ipiales y con la república del y su capital Mocoa. Hacia el occidente, conecta con la ciudad portuaria de Tumaco. Esta vía se constituye en el acceso principal que conecta a la ciudad con el aeropuerto Antonio Nariño en el municipio de Chachagüí.

Dentro el ámbito del suelo clasificado como de expansión Zona Nororiental Aranda tiene una importante presencia el suelo de protección ambiental denominado corredor ecológico de transición rural Morasurco-Cabrera del cual derivan tres cursos de agua que desembocan sobre el río Pasto. Este corredor forma parte integral de un área de protección de mayor importancia de las cuencas Pasto, Bobo y Guamués.

Desde el punto de vista de su localización en relación con el suelo urbano, está previsto por el POT que el sector de Aranda y el suelo de expansión se consoliden como una nueva centralidad de escala municipal teniendo en cuenta que se constituye en un área estratégica para la creación de un complejo de actividades múltiples que contribuirán, en primer lugar, a garantizar que las conexiones entre el ámbito urbano con el territorio rural más próximo y la región norte-sur-oriental, sean adecuadamente articuladas y, por otra parte, ofrecer a la ciudad y a los residentes, nuevas actividades mediante la creación de un nuevo nodo de actividades de escala municipal.

Dentro del área de influencia del área urbana se encuentra el centro poblado Tescual, situado hacia el norte de la ciudad de Pasto y al oriente del ámbito de actuación del Plan Parcial Aranda. Igualmente, al norte se localiza la zona denominada Reserva Natural Janacatú, área de alto valor paisajístico y ambiental por formar parte integral del corredor ecológico de transición rural Morasurco-Cabrera y del ámbito de formulación del Plan Parcial Aranda.

El mapa EE7 Planes parciales refleja la localización y delimitación del suelo de Expansión Zona Nororiental Aranda al interior del cual se localiza el área de formulación del Plan Parcial Aranda Central:



Mapa 2. Plano EE7 Planes Parciales. POT Pasto

Fuente: Alcaldía municipal de Pasto – SPM 2015

El polígono del suelo de expansión urbana denominado *Zona Nororiental Aranda*, clasificado por el POT Pasto se encuentra conformado por 67 predios y su área de planificación corresponde a los límites y coordenadas descritos en el siguiente cuadro:

Número	X	Y	Número	X	Y
1	979046,11	629430,23	35	978488,72	629571,07
2	978900,76	629332,55	36	978482,39	629777,4
3	978900,76	629331,09	37	978376,17	630015,4
4	978900,01	628973,38	38	978323,14	630162,23
5	979029,26	628844,16	39	978310,88	630310,67
6	979016,67	628810,13	40	978286,57	630377,83
7	979023,14	628790,37	41	978359,35	630466,3
8	978827,81	628662	42	978422,48	630379,06
9	978622,46	628757,34	43	978596,38	630187,78
10	978594,67	628710,03	44	978636,23	630380,51
11	978594,58	628709,87	45	978746,05	630657,36
12	978450,34	628742,1	46	978791,49	630546,34
13	978450,24	628742,12	47	978960,54	630593,7
14	978468,07	628892,14	48	979019,14	630418,47
15	978503,07	628884,96	49	979018,95	630418,16
16	978518,98	628965,94	50	978838,29	630126,26
17	978519,07	628966,26	51	978919,73	630020,6
18	978525,1	628994,58	52	978996,78	630008,5
19	978524,65	628994,75	53	979035,3	629880,83
20	978494,75	629000,79	54	979109,66	629857,82
21	978491,89	629001,37	55	979076,63	629627,35
22	978496,15	629020,27	56	979076,54	629626,96
23	978496,33	629021,07	57	979076,63	629626,96
24	978485,94	629023,17	58	979233,77	629624,78
25	978494,27	629067,02	59	979239,04	629604,37
26	978566,18	629245,13	60	979236,96	629453,84
27	978538,48	629254,33	61	979203,04	629286,63
28	978556,06	629313,15	62	979152,29	629117,79
29	978594,32	629304,61	63	979120,65	629121,93

Número	X	Y	Número	X	Y
30	978563,34	629337	64	979120,53	629121,61
31	978541,05	629403,49	65	979120,48	629121,51
32	978537,48	629484,12	66	979067,05	628962,84
33	978529,42	629483,23	67	979072,2	629205,96
34	978495,89	629571,27			

Tabla 1. Coordenadas del área de planificación correspondiente al Suelo de expansión Zona Nororiental Aranda
Fuente: SPM 2023

El siguiente mapa presenta la delimitación del área de planificación correspondiente al Suelo de expansión *Zona Nororiental Aranda*:

2Mapa de delimitación del polígono *Zona Nororiental Aranda*
Fuente: SPM 2023

1.4.1 Criterios para la delimitación del Plan Parcial Aranda Central

Los siguientes, son los criterios que orientan la delimitación del ámbito de formulación del Plan parcial Aranda Central:

- Estructura ecológica principal y suelo de protección clasificado por el Acuerdo 007 de 2015

De conformidad con lo establecido por el POT Pasto 2015, La Estructura Ecológica Principal está conformada por el conjunto de ecosistemas que garantizan la integridad de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos, con el fin de satisfacer las necesidades básicas de la población, los cuales a su vez se constituyen en elementos estratégicos para el ordenamiento territorial. Con dicha estructura se asegura en el tiempo la consolidación de los espacios para el conocimiento, la conservación y la utilización de esa biodiversidad, su funcionalidad y la capacidad de soporte de prestación de los servicios para el desarrollo socioeconómico de la población en forma equitativa, segura y sostenible.

Para el área del Plan Parcial la estructura ecológica está representada por el sistema hídrico, áreas con cobertura forestal localizadas hacia el sector norte del plan parcial, e iniciativas de conservación o reservas privadas, particularmente la reserva de Janacatú de propiedad del municipio.

Teniendo en cuenta el impacto positivo de los elementos de la EEP en la prestación de servicios ecosistémicos, se considera como fundamental la inclusión de la reserva Janacatú en el ámbito de formulación con miras a la articulación ambiental y funcional de las áreas de espacio público urbano y los corredores ambientales generados por la propuesta urbanística en garantía de la conectividad ecosistémica.

- Iniciativas de carácter privado para el desarrollo urbano de Aranda

Dentro del proceso de delimitación del área del Plan parcial Aranda Central son tenidas en cuenta las disposiciones del Acuerdo 004 de 2015, que en su Artículo 351. Lineamientos generales para la formulación de los planes parciales de expansión, determina:

“El área de expansión identificada puede ser desarrollada mediante uno o varios planes parciales, dando cumplimiento a los lineamientos generales del presente Acuerdo”.

En tal contexto, la delimitación del Plan parcial Aranda Central se realiza con base en las iniciativas de carácter privado para el desarrollo de planes parciales sobre el suelo de expansión Zona Nororiental Aranda ya adoptadas mediante decreto municipal o cuya formulación en el año 2023 se encuentran en curso, determinando su exclusión del ámbito de formulación del Plan:

Plan Parcial	Atributo	Características
Plan parcial Policía Metropolitana	Iniciativa:	Plan parcial de iniciativa privada Adoptado por Decreto No. 0177 de 2021 (29 de abril de 2021).
	Estado de avance:	Concertación con la Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO mediante Resolución No. 140 del 26 de marzo de 2021
	Área:	8,50 has
Plan parcial Arrayán	Iniciativa:	Plan parcial de iniciativa privada
	Estado de avance:	Solicitud de determinantes ante la Secretaría de Planeación municipal y Radicación de propuesta.
	Área:	6,11 has
Plan parcial Magdalena	Iniciativa:	Plan parcial de iniciativa privada
	Estado de avance:	Solicitud de determinantes ante la Secretaría de Planeación municipal.
	Área:	S/D
Plan parcial Macarena	Iniciativa:	Plan parcial de iniciativa privada
	Estado de avance:	Solicitud de determinantes ante la Secretaría de Planeación municipal. Radicación de propuesta y socialización a vecinos y terceros colindantes
	Área:	11,24 has

Tabla 2. Planes parciales en el ámbito del suelo de expansión Zona Nororiental Aranda
Fuente. SPM 2023

- Presencia de suelos con características de centro poblado

El área clasificada como suelo de expansión urbana, contiene áreas con características de ocupación asociadas al suelo de desarrollo restringido, es decir, asentamientos humanos que donde se combinan las características de los suelos rural y urbano. Es el caso del asentamiento San Antonio de Aranda, conformado sobre un tejido suburbano consolidado con conjunto de predios dispuestos en torno a dos vías principales; la Calle 40 y Avenida Aranda hasta el predio Janacatú sobre la cuales se localizan la capilla, plazoleta y usos institucionales, de vivienda y comercio y servicios de baja escala e impacto. Las características anteriormente descritas dificultan su incorporación al ámbito de formulación y, se constituyen en la oportunidad de que el proyecto de formulación del Plan parcial Aranda Central, ponga en valor las características del asentamiento configurando determinantes de partida para decisiones que fortalezcan dicha vocación de ocupación del suelo y la localización de servicios sociales para el reequilibrio y habitabilidad del sector.

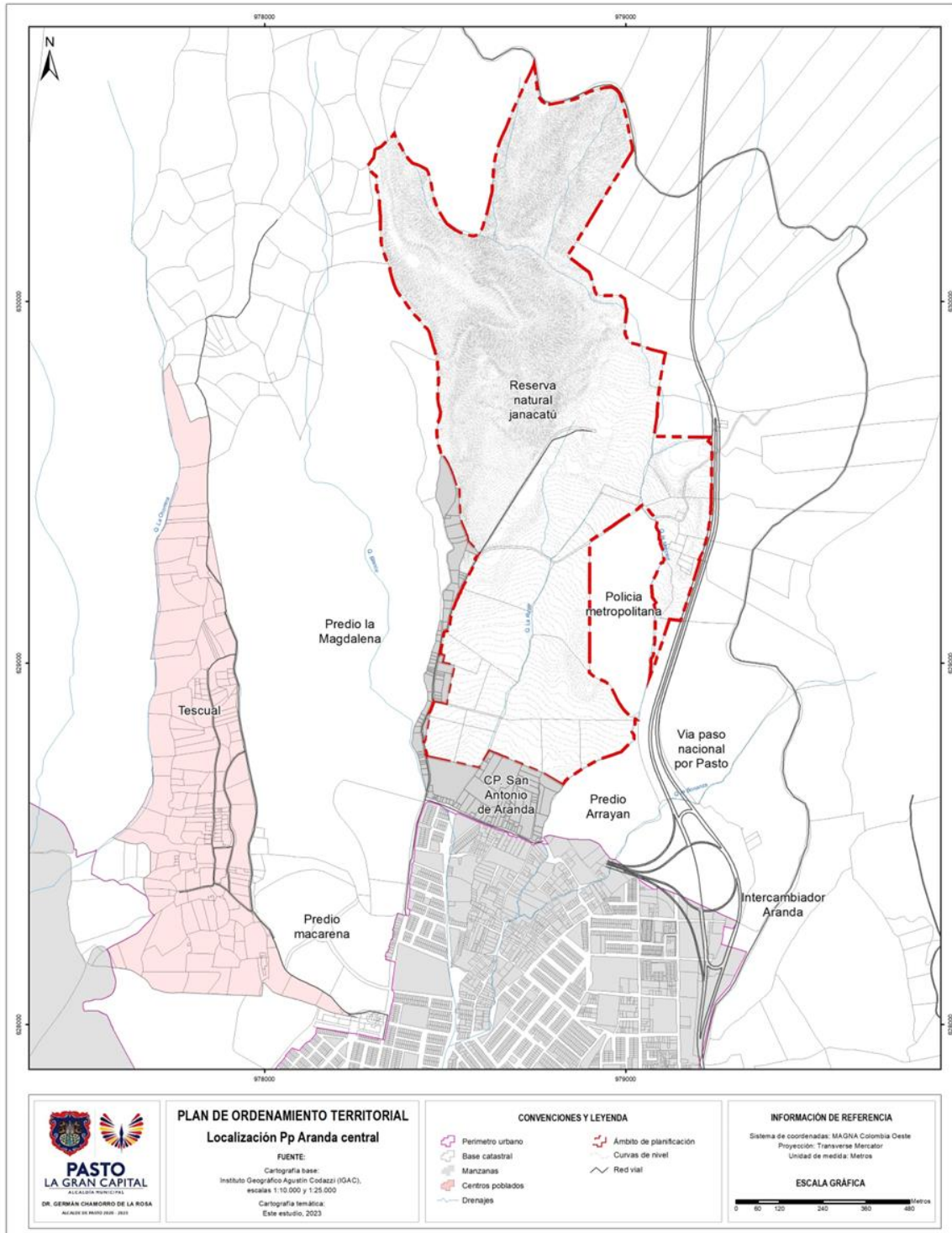
- Incorporación de espacio público al suelo urbano

Es importante señalar que, al norte del área delimitada para el plan parcial Aranda Central, se incorpora la Reserva Natural Janacatú cuyo valor paisajístico y ambiental contribuye a incrementar la oferta de espacio público urbano y complementar el inventario de áreas verdes y recreativas del municipio de acuerdo con las disposiciones del Acuerdo 004 de 2015.

- Incorporación de suelo para el desarrollo de actividades industriales

El POT Pasto tiene como objetivo para el suelo de expansión Aranda, integrar al desarrollo urbano, suelo con uso industrial en un área conectada con la ciudad y la vía Paso nacional por Pasto. De este modo, se encuentra delimitada el área de desarrollo industrial Aranda, como una franja paralela al trazado de la vía de primer orden de 300 metros sobre la cual se prevé la localización de suelo Industrial para el asentamiento de actividades de transformación de materias primas Industriales mediante la consolidación de zonas o parques industriales.

El siguiente mapa refleja el polígono delimitado como área de formulación del Plan Parcial Aranda Central y su localización en el contexto:



Mapa 3. Localización, delimitación y contexto del Plan Parcial Aranda Central
Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

1.4.1 Delimitación del Plan parcial Aranda Central

El Plan parcial “Aranda Central” involucra 28 predios que incluyen la reserva natural Janacatú con un área total de 97,26 hectáreas (972.675,57m²). Teniendo en cuenta el reparto equitativo de cargas y beneficios, el área de suelo de protección correspondiente a la reserva natural Janacatú correspondiente a 57,67 hectáreas (576,715.72m²), se excluye del área bruta de Plan.

De esta forma, el área bruta de Plan parcial “Aranda Central” corresponde a un polígono de 39,59 hectáreas de suelo (395,959.85 m²) de cuya área fueron delimitados 8,301.15m² como áreas de reserva o exclusión de la vía variante Paso nacional por Pasto, en cumplimiento de la Ley 1228 de 2008, resultando 38,76 hectáreas (387,658.70m²) de área de planificación sobre la cual se aplican los cálculos de cargas generales asociados a las áreas de la estructura ecológica principal y vías que forman parte de la red vial arterial.

Dicho polígono limita; al Norte con el corredor ecológico de transición rural Morasurco-Cabrera; al Sur con predios particulares del sector de Aranda, el perímetro urbano (calle 40 del barrio Aranda) y la Comuna 10, por el Oriente con predios de la Policía metropolitana (Plan parcial Policía metropolitana) y Vía Paso Nacional por Pasto. Por el occidente con predios particulares del del centro poblado San Antonio de Aranda y vía de acceso al predio Janacatú.

Temas relevantes	Descripción
Área	43,03 hectáreas
Comuna de influencia	10
Corregimiento	Morasurco
Cuenca	Río Pasto
Sistema Hídrico	Q. la Merced, Q. Blanco, Q La Rusia y Q Bonanza
Biogeográficamente	Provincia Nor-andina
Iniciativas de conservación	Reserva Natural Janacatú
Referentes Geográficos	Cerro Morasurco
Corredor Ecológico	Proximidad con corredor ecológico de transición rural Morasurco-Cabrera

Tabla 3. Temas relevantes del ámbito de intervención – Plan parcial Aranda Central
Fuente. SPM 2023

1.4.2 Identificación Predial

El polígono que conforma el Plan parcial Aranda Central está conformado por 28 predios que suman un área bruta de 43,03 hectáreas de suelo (430,324.80 m²). La siguiente tabla refleja la identificación predial con código y matrícula inmobiliaria, propietario y área de cada uno de los predios:

Plan Parcial Aranda Central

Municipio de Pasto
Documento Técnico de Soporte
2.023

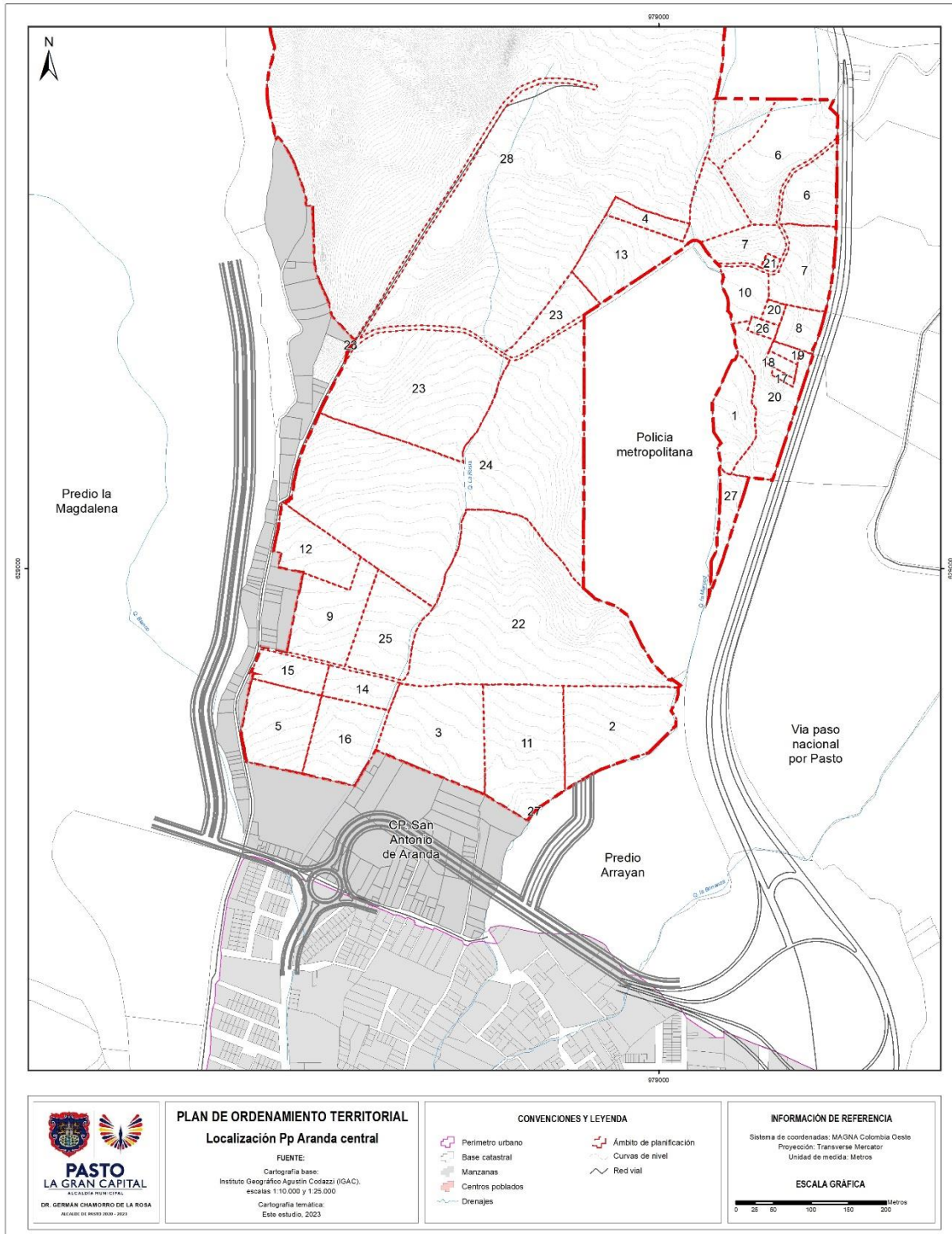
No	Código predial	Matrícula inmobiliaria	Dirección	Propietario	Área m2	Área Has
1	520010002000000030597000000000	240-98600	COMODATO PARCELA ARANDA	TUMAL CLARA-DEL-ROSARIO	6,415.36	0,64
2	520010002000000030540000000000	240-68571	CAPILLA LO C	AGREDA ROSAS JUAN-CARLOS	14,975.47	1,49
3	520010002000000030732000000000	240-221302	LA CAPILLA LO A	ROSAS SANTACRUZ CONCEPCION-VICTOR	15,618.22	1,56
4	520010002000000030652000000000	240-125226	EL ESTABLO ARANDA	PORTILLA SALAZAR LUIS-APHRANIO	2,545.12	0,25
5	520010002000000030619000000000	240-106094	LO 1 B ARANDA	CONTRERAS AGREDA CAROLINA	9,910.52	0,99
6	520010002000000030608000000000	240-218480	LA MERCED BERBENA ARANDA	SOCIEDAD-INVERSIONES-MUELLAMUES-L	19,844.62	1,98
7	520010002000000030598000000000	240-98168	PARCELA 3 ARANDA	TUMAL AURELIO-FAUSTO	12,289.77	1,23
8	520010002000000030726000000000	240-215794	LA MERCED VERBENA ARANDA	SANTACRUZ ESTRADA GLORIA-AMPARO	2,942.76	0,29
9	520010002000000030008000000000	Sin información	CALLEJON ARANDA	ZAMBRANO GOMEZ PEDRO-ANTONIO	10,013.49	1,00
10	520010002000000030743000000000	240-225327	PARCELA 3 LA MERCED-SEC.ARANDA	IGLESIA-CRISTIANA-TABERNACULO-DE-	3,874.99	0,39
11	520010002000000030733000000000	240-221305	LA CAPILLA LOTE B ARANDA	AGREDA ROSAS ISABEL-CRISTINA	17,206.06	1,72
12	520010002000000030007000000000	240-171456	CALLEJON ARANDA	RIASCOS MEJIA SILVIO-ANTONIO	7,183.37	0,72
13	520010002000000030600000000000	240-94998	PARCELACION LA MERCED LT 2 Y 9	CHAVEZ ROSERO JOSE-ANTONIO	14,811.88	1,48
14	520010002000000030744000000000	240-184590	URB JAZMINES DEL NORTE ARANDA	ASOCIACION-DE-VIVIENDA-JAZMINES-D	3,853.68	0,39
15	520010002000000030596000000000	240-73758	ARANDA	CONTRERAS AGREDA CAROLINA	3,999.39	0,40
16	520010002000000030618000000000	240-106093-93	LO 1 C ARANDA	AGREDA ROJAS MARIA-ISABEL	9,206.41	0,92
17	520010002000000030715000000000	240-195135	LOTE 11	JARAMILLO RIVERA SANDRA-FABIOLA	327.91	0,03
18	520010002000000030716000000000	240-195136	LOTE 10	INCODER - ANT	793.85	0,08
19	520010002000000030717000000000	240-195137	LOTE 13	DIAZ GELPUD MARIA-ROSARIO	659.58	0,07
20	520010002000000030719000000000	240-195139	LOTE 15	AGENCIA-MACIONAL-DE-TIERRAS	10,657.97	1,07
21	520010002000000030719000000000	240-195139	LOTE 15	AGENCIA-MACIONAL-DE-TIERRAS	397.87	0,04
22	520010002000000030005000000000	240-97599	ARANDA	TROYA JESUS-EUDORO TROYA MOSQUERA OSWALDO JESUS TROYA MOSQUERA EDNA RUTH TROYA MOSQUERA MARIA CRISTINA TROYA MOSQUERA JAIRO FERNANDO TROYA MOSQUERA JESUS IGNACIO	50,714.55	5,07
23	520010002000000030602000000000	240-224409	PARCELACION LA MERCED LT 1 ARANDA	NUPAN GUACAS ALFREDO	33,858.78	3,39
24	520010002000000030002000000000	240-34048	ESTANCIA VERBENA ARANDA	CHAMORRO PIMIENTO ALICIA-MARIA	72,354.69	7,24

Plan Parcial Aranda Central

Municipio de Pasto
Documento Técnico de Soporte
2.023

25	520010002000000030006000000000	Sin información	CALLEJON	ZAMBRANO GOMEZ ELIAS-HOMERO	9,616.29	0.96
26	520010002000000030755000000000	Sin información	LA MERCED LOTE 12	DIAZ NUPAN MARIA-OLGA	768.29	0.08
27	520010002000000030417000000000	240-34046-82	ARRAYAN CAJON CHIQUERO ARANDA LO-1	LINARES VILLOTA HENRY SEBASTIAN	3,044.16	0.30
28	520010002000000140128000000000	240-43548	JANACATU	INVI-PASTO-INSTITUTO-MUNICIPAL-RE	623,011.63	62.30

Tabla 4. Identificación predial Plan Parcial Aranda Central
Fuente: SPM 2023



Mapa 4. Localización e identificación predial
Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

1.5 LINEAMIENTOS URBANÍSTICOS

Los lineamientos urbanísticos a tener en cuenta en la formulación del plan parcial ARANDA ÁREA CENTRAL se enmarcan en lo estipulado por el Acuerdo 004 de 2015 que adopta el POT PASTO 2015-2027 en lo referente a la norma aplicable a los Planes Parciales de Expansión, específicamente para el Plan Parcial Aranda Central:

El **Artículo 351**. Lineamientos generales para la formulación de los planes parciales de expansión determina:

Los procesos de formulación y adopción de Planes Parciales para las zonas identificadas de expansión, deberán incluir además de las determinantes establecidas en la normatividad nacional, el desarrollo de los siguientes lineamientos:

1. Plan Parcial de Expansión Aranda: Incorporación de Vivienda, Espacio Público y Suelo Industrial.

Objetivo: Integrar al desarrollo urbano suelo para vivienda, espacio público y usos industriales en un área conectada con la ciudad y la vía Paso Nacional por Pasto.

El área de expansión identificada puede ser desarrollada mediante uno o varios planes parciales, dando cumplimiento a los lineamientos generales del presente Acuerdo. (subrayas fuera de texto original".

Lineamientos Básicos

- Espacio Público: Generación del parque urbano de borde definido en el sistema de espacio público y espacializado en el plano No. EFS17.
- Generación de los parques locales de conformidad con las cargas urbanísticas previstas en el presente acuerdo.
- Movilidad: Proyección de la infraestructura vial de conformidad con lo establecido en el plano No. EFS14 y en concordancia con el modelo de ordenamiento de la malla vial adoptada por el presente Plan, la cual se fundamenta en el modelo de supermanzana.
- Tipos edificatorios: Proyección de diferentes tipos edificatorios.
- Edificabilidad: Definición de las áreas objeto de reparto y de las cargas adicionales para el alcance de las expectativas del plan. La edificabilidad adoptada por el Plan deberá desarrollarse en cumplimiento de lo establecido en el POT Pasto.
- Infraestructura: La formulación del Plan Parcial deberá incluir el análisis de los sistemas de recolección y transporte existentes y el diseño adecuado de los sistemas proyectados para la inclusión de elementos que permitan el manejo sostenible de las aguas servidas de modo que garanticen la no contaminación del río Pasto.
- El uso residencial se ajustará a las previsiones del proyecto Piedras Fase II, para la zona de expansión Aranda."

Además de los lineamientos generales para la formulación del Plan Parcial de Expansión Aranda, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

1.5.1 Sistema de Servicios Públicos

En el marco del Plan Parcial Aranda Central, se deberá incluir el análisis de los diferentes servicios públicos, los requerimientos técnicos y de infraestructura, necesarios para garantizar un adecuado servicio en términos de calidad y continuidad, para ello, se deberá tener en cuenta la normatividad existente, los planes que actualmente se encuentren vigentes y en desarrollo a nivel municipal, las determinantes técnicas expedidas por los diferentes prestadores y por la autoridad ambiental.

En concordancia con la Factibilidad de Servicios de Acueducto y Alcantarillado expedida por Empopasto S.A. E.S.P, mediante oficio N° 20157300191611 del 11 de noviembre de 2015 – Factibilidad de servicios de acueducto y alcantarillado para el proyecto Plan Parcial Aranda, el desarrollo residencial no podrá superar las 7000 soluciones de vivienda, es por eso que el presente plan contempla un total de 4606 soluciones de vivienda, en total para el Plan Parcial Aranda Central.

Cabe resaltar que: teniendo en cuenta que el área neta urbanizable es igual a 279.727,46 metros cuadrados (m²) y la densidad máxima establecida es igual a 200 viviendas por hectárea (viv/Ha), se establece un máximo de soluciones de vivienda igual a 5595 viviendas, las cuales se podrán desarrollar, una vez el urbanizador – constructor realice ante el prestador de servicio de acueducto y alcantarillado Empopasto S.A. E.S.P, el respectivo trámite para actualizar la Factibilidad de servicios y posteriormente, gestionar la Disponibilidad de servicios y datos técnicos.

A continuación, se cita los planes a nivel municipal, que se deberán contemplar dentro de la ejecución de este plan parcial.

Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua PUEAA

La ley 373 de 1997 reglamenta el "Programa para el uso eficiente y ahorro del agua" - PUEAA- como el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usos del recurso hídrico.

Esta norma se articula de manera directa con los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, reglamentados mediante las Resoluciones 1433 de 2004 y 2145 de 2005, que a su vez tienen relación directa con el Plan Departamental de Agua.

El Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA), es el Conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico (Artículo 1 Ley 373 de 1997).

Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos

Mediante la resolución 1433 del 27 Diciembre de 2004, el MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - MAVDT reglamentó el artículo 12 del decreto 3100 de 2003 sobre PSMV, en el que se establece que: los prestadores del servicio público de alcantarillado que están sujetos al pago de la tasa retributiva, deberán presentar ante la Autoridad Ambiental competente su Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, a partir del establecimiento de los Objetivos de Calidad de la Cuenca correspondiente.

Por lo tanto, es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente tramo o cuerpo de agua. El PSMV será aprobado por la autoridad ambiental competente.

El Plan Parcial Aranda Central se articula al Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del municipio, toda vez que, la evacuación final de las aguas residuales y pluviales del plan parcial, debe realizarse por medio de las redes de alcantarillado operadas por EMPOPASTO S.A. E.S.P. El plan parcial establece los lineamientos básicos y esquemas previos para el diseño de las redes de alcantarillado, será responsabilidad del urbanizador constructor que desarrolle cada lote que forma parte del plan parcial Aranda Central, realizar a detalle los diseños de las redes de acueducto, alcantarillado pluvial y sanitario, entregando en los puntos de conexión a la red oficial existente, los cuales ya han sido definidos por el prestador, por tal razón EMPOPASTO S.A. E.S.P. acogerá esta zona de expansión urbanística dentro de su PSMV y será responsabilidad del prestador atender y cumplir con las exigencias realizadas por la corporación autónoma de Nariño, CORPONARIÑO.

1.5.2 Sistema de Movilidad

La propuesta urbanística deberá contemplar la proyección de la infraestructura vial de conformidad con lo establecido en el plano No. EFS14, en concordancia la malla vial adoptada por el Plan de ordenamiento territorial, la cual se fundamenta en el modelo de supermanzana y los elementos clave que caracterizan a los subsistemas de movilidad.

Subsistema de Infraestructura Vial¹

- La localización respecto a la red vial facilita la integración funcional al contexto urbano y regional. La accesibilidad y conectividad al área delimitada para el Plan Parcial Aranda Central y en general a su zona de influencia, está determinada por la localización de la Vía Paso Nacional por Pasto que corresponde a una vía de primer orden de la Red Vial Nacional y con la que se conectaría mediante la vía de conexión e intercambiador Aranda que se encuentra proyectada sobre la Calle 40.
- Para la Vía Nacional paso por Pasto, conforme al artículo 149 y 150 del Acuerdo 004 de 2015 (POT) y la Ley Nacional 1228 de 2008, *Artículo 2º. Zonas de reserva para carreteras de la red vial nacional*, se establecen las siguientes fajas de retiro obligatorio o área de reserva o de exclusión para las carreteras que forman parte de la red vial nacional donde, para el caso de la vía de primer orden Paso Nacional por Pasto y teniendo en cuenta que a su paso por el área del Plan parcial ya cuenta con doble calzada, se debe generar un área de reserva o de exclusión de (20) metros que se medirán a partir del eje de cada calzada exterior, y sobre la cual no se podrán expedir licencias urbanísticas o permisos de construcción de cualquier naturaleza y que aun siendo parte del área bruta de terreno no se contabiliza como carga general.

¹ Con base en Alcaldía municipal de Pasto – CIDETER. Plan DTS Documento Técnico de Diagnóstico. 2016

- La Carrera 27 que posteriormente se convierte en Carrera 29 permite la conexión del área urbana con el área del Plan Parcial Aranda Central, por cuanto corresponde a un Eje Vial Arterial y sobre la cual se encuentra proyectado el Eje Arterial Tramo Milagrosa-Aranda.

Es importante señalar que, las vías mencionadas se encuentran parcialmente construidas y, por lo tanto, en la actualidad no existe un sistema vial que pueda responder a las demandas de los nuevos proyectos derivados del Plan Parcial, por tanto, la formulación del plan parcial debe plantear como objetivo, la conexión con dichos ejes. En la siguiente tabla refleja la caracterización de los tramos de la red vial existente y circundante:

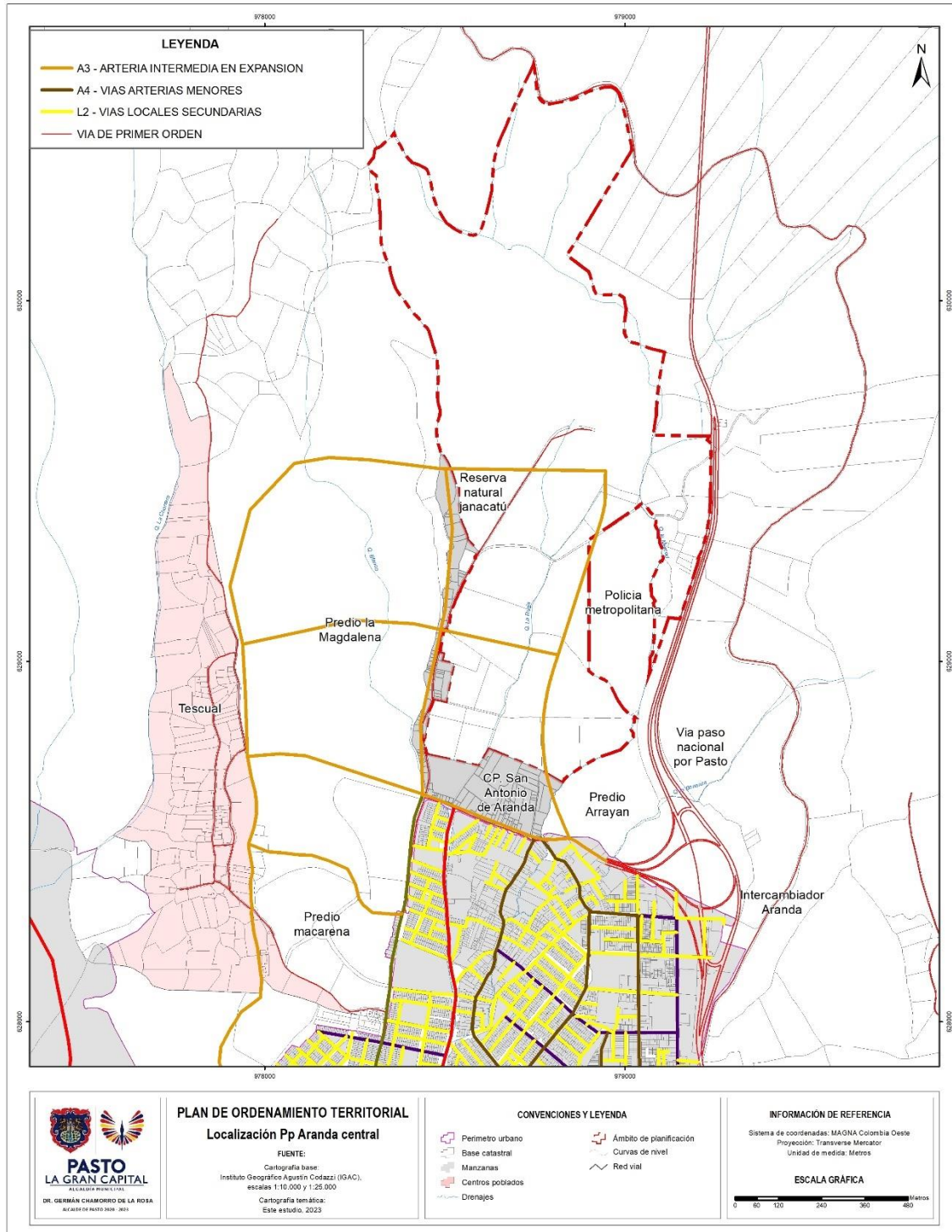
VÍA	SECTOR	CARACTERÍSTICAS	ESTADO
Calle 40 y Vía de conexión e intercambiador con vía nacional Paso por Pasto – Aranda. (Calle 40)	Vía Nacional Paso por Pasto – Av. Aranda	<u>Existente</u> Vía de doble sentido de circulación de una calzada con un carril por sentido y sin andenes.	Parcialmente Construida – Proyectada
	Vía Nacional Paso por Pasto – Av. Aranda	Vía arterial intermedia en expansión con sentido de circulación E-O y O-E. Carril Vehicular, Carril SETP, Separador y Ciclorruta.	A-3
Carrera 29 Eje Arterial Tramo Milagrosa Aranda (Carrera 29)	Calle 40 (Vía de conexión e intercambiador con vía nacional Paso por Pasto – Aranda)	<u>Existente</u> Vía de doble sentido de circulación de una calzada con un carril por sentido y sin andenes.	Parcialmente Construida – Proyectada
		Vía Eje Arterial con sentido de circulación N-S y S-N. Carril Vehicular, Carril SETP, Separador y Ciclorruta.	A-1
Av. Aranda	Av. Aranda hasta Calle 40. Atraviesa CP. San Antonio de Aranda hasta predio Janacatú	<u>Existente</u> En tramo urbano: Vía de doble sentido de circulación de una calzada con un carril por sentido y sin andenes. Tramos sin pavimentar y en adoquín. En Centro poblado: vía de una calzada parcialmente pavimentada	Parcialmente Construida – Proyectada
	Av. Aranda hasta Calle 36	Eje Arterial Intermedia con sentido de circulación N-S y S-N. Carril Vehicular, Carril SETP, Separador y Ciclorruta.	A-3
Calle 37	Calle 40 (Vía de conexión e intercambiador con vía nacional Paso por Pasto – Aranda)	<u>Existente</u> Vía de doble sentido de circulación de una calzada con un carril por sentido y sin andenes. Tramos sin pavimentar. A partir de la Calle 40 se proyecta como arteria menor que articula áreas del PP Arrayan, PP Policía metropolitana y PP Aranda Central	Parcialmente Construida – Proyectada vía e intercambiador

VÍA	SECTOR	CARACTERÍSTICAS	ESTADO
	Calle 40 (Vía de conexión e intercambiador con vía nacional Paso por Pasto – Aranda)	Vía Arteria Menor con sentido de circulación N-S y S-N. Carril Vehicular, Carril SETP.	A-4

Tabla 5. Caracterización red vial

Fuente: Acuerdo 004 de 2015 – PP Aranda - CIDETER 2017

La anterior infraestructura como componente de un sistema, hace parte de la red de vías urbanas. Las vías señaladas se encuentran dentro del ámbito municipal, en el área de influencia y/o en el ámbito del Plan Parcial.



Mapa 5. Subsistema de infraestructura vial POT Pasto 2015
Fuente: CIDETER 2017. Plan de Ordenamiento Territorial, 2015. Este estudio

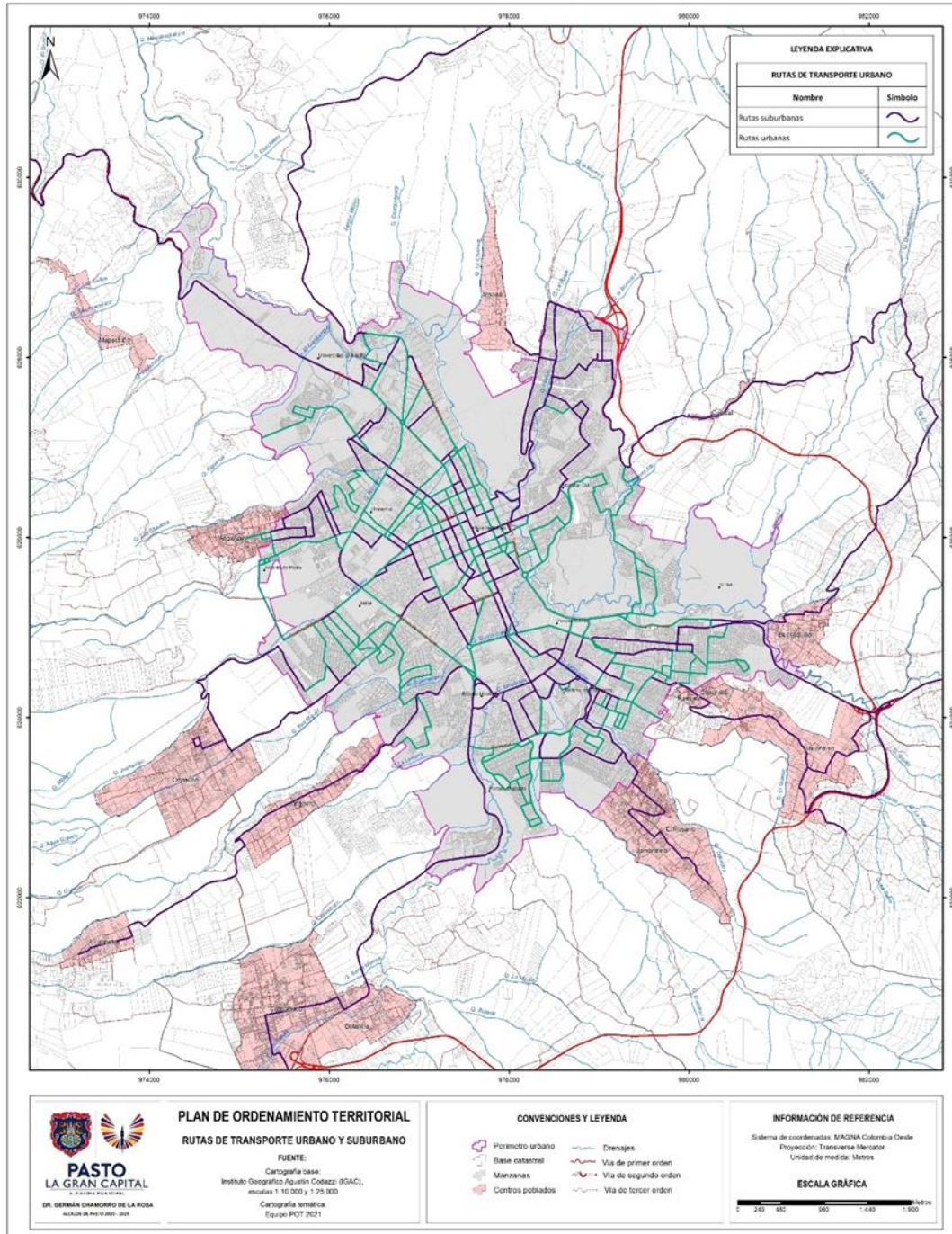
Subsistema de Transporte²

El área delimitada para el Plan Parcial Central no cuenta con rutas del sistema de transporte público colectivo que hacen parte del Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasto (SETP).

El transporte de personas se da desde el área de la ciudad consolidada en el sector de Aranda, la cual cuenta con rutas de transporte público colectivo sobre la Carrera 29, la Calle 40 y sobre la Carrera 26 y que corresponden a la Ruta Estratégica E7 SIT Prados del Norte – Rosales y a las rutas complementarias C9 SIT Prados del Norte – Briceño y C15 SIT Prados del Norte – Mijitayo.

- Ruta Estratégica E7 SIT Prados del Norte – Rosales: Inicia su trayecto en el Barrio Prados del Norte de la comuna 10, recorriendo las comunas 11, 2, y 1 hasta llegar al barrio Rosales de la comuna 6. Pasa a una cuadra de la Plaza de Nariño por la Carrera 23.
- Ruta Complementaria C9 SIT Prados del Norte – Briceño: inicia su trayecto en el Barrio Prados del Norte de la comuna 10, recorriendo las comunas 11 y 1 hasta llegar al barrio Briceño de la comuna 9. Pasa por la Universidad Mariana y la Universidad de Nariño por la Calle 18.
- Ruta Complementaria C15 SIT Prados del Norte – Mijitayo inicia su trayecto en el Barrio Prados del Norte de la comuna 10, recorriendo las comunas 11, 2, y 1 hasta llegar al barrio Mijitayo de la comuna 6. Pasa a una cuadra de la Plaza de Nariño por la Calle 20 y por el Colegio INEM por la Carrera 26.

² Fuente: Alcaldía municipal de Pasto – CIDETER. Plan DTS Documento Técnico de Diagnóstico. 2017



Mapa 6. Rutas de Transporte Público Urbanas y Suburbanas SETP
Fuente: AVANTE – SIG 2021

Como lineamiento de accesibilidad al sistema de transporte público, el Artículo 7 del Decreto 0735 de 2009 (por medio del cual se adopta el Sistema Estratégico de Transporte Público – SETP) establece que el servicio de transporte público en el perímetro urbano municipal debe cubrir distancias máximas de caminata de los usuarios de 300 metros para acceder al sistema.

En el estudio realizado para el Departamento Nacional de Planeación -DNP- en el 2013, por el Consorcio SIGMA GP - Ciudad Humana para establecer la “Línea base de movilidad en la ciudad de Pasto, en relación a la prestación de servicios de transporte público, previa entrada en funcionamiento del SETP”, se determinó que existe un 100% de cobertura del perímetro urbano municipal, cumpliendo con el indicador de accesibilidad al servicio de transporte público.

En este mismo estudio se determinó que tanto para usuarios como para no usuarios del transporte público, el centro sigue siendo el principal atractivo de viajes, sin embargo, emergen con mucha fuerza nuevas comunas que atraen una cantidad considerable de viajes como es el caso de la Comuna No 10 con el 20% de atracción de viajes. En este sector de la ciudad se presenta la más fuerte actividad de construcción de vivienda sobre todo de interés social, además de la construcción de la variante Paso nacional por Pasto.

De acuerdo con lo anterior, el sector de Aranda cuenta con cobertura del sistema de transporte público, permitiendo movilizar a sus habitantes al resto de la ciudad sin necesidad de realizar transbordos. Actualmente existe un espacio en el barrio Sol de Oriente que funciona como estación o portal del sistema de transporte, que se utiliza como espacio de abordaje y descenso de pasajeros y como patio de mantenimiento de los buses.

Transporte No Motorizado

El sector delimitado no cuenta con ciclo rutas construidas pertenecientes a la red del municipio. Sin embargo, se encuentra proyectada por el Plan de Ordenamiento Territorial una red en vías arterias que incluyen las vías del suelo de expansión de Aranda.

1.5.3 Sistema de Espacio Público³

Generación de los parques locales de conformidad con las cargas urbanísticas previstas en el Acuerdo 004 de 2015.

El sistema de espacio público es el conjunto de espacios que conforman una red que responde al objetivo general de garantizar el equilibrio entre densidades poblacionales, actividades urbanas y condiciones medioambientales y que está relacionado funcionalmente con los elementos de la estructura ecológica a la cual complementa, con el fin de mejorar las condiciones ambientales y de habitabilidad de la ciudad. Es el lugar de equilibrio entre el crecimiento urbano y poblacional y su relación con la capacidad de soporte del territorio.

³ Con base en Alcaldía municipal de Pasto – CIDETER. Plan DTS Documento Técnico de Diagnóstico. 2016 y Diagnostico territorial 2021. Pasto

El diagnóstico territorial 2012-2015 identificó y caracterizó los elementos constitutivos construidos del espacio público del municipio y el diagnóstico elaborado en 2021 actualiza el inventario de conformidad con el modelo y la estructura de espacio público adoptados mediante Acuerdo 004 de 2015. Dicha actualización se realizó, por una parte, con base en el estudio de población realizado sobre el censo DANE 2018 que modifica los datos en relación con el Censo DANE 2005; por otra, con base en el análisis espacial y procesamiento de información del SIG de la SPM 2021, la cual permitió depurar el listado de elementos que conforman el inventario, así como verificar sus áreas. El análisis de datos a 2021, hace posible la actualización del inventario de espacio público efectivo, y por tanto del indicador de espacio público, EPef 2021 para el suelo urbano de Pasto.

La siguiente tabla refleja la comparación entre datos e indicador de Epef. para los años 2014 – 2021; de donde se concluye que, producto de los ajustes realizados a los datos de población e inventario de espacio público, los indicadores se modifican así:

Espacio público efectivo	2014		2021	
Espacio público efectivo	777.555	M2	613,994.35	M2
Población en suelo urbano	349.370	Habitantes	305.329	Habitantes
Espacio público por habitante	2,20	M2/Hab	2,01	M2/Hab

Tabla 6. Comparativo indicador Epef. 2014 – 2021
Fuente: SIG P.O.T. SPM 2021

- Modelo de espacio público

Conforme a lo establecido en el Acuerdo 004 de 2015, el modelo de espacio público propuesto se conforma por la articulación de la estructura ecología municipal con el anillo verde de borde suburbano, resaltando los elementos del sistema hídrico como corredores naturales de conectividad urbana y rural.

Dentro del ámbito del Plan Parcial Aranda Central, se encuentra el Parque Reserva Natural JANACATU, que hace parte de la red municipal de parques y está clasificado dentro de los Parques Suburbanos, que de conformidad con el artículo 205, *“se constituyen como espacios públicos de gran importancia al controlar el crecimiento urbano hacia las periferias ya que permiten consolidar zonas de borde del perímetro urbano estableciéndose como áreas de amortiguamiento entre el territorio urbana y rural (...)...Estos parques forman parte de la estructura ecológica principal como zonas articuladoras del territorio.”*

Igualmente, el Acuerdo 004 de 2015 determina el papel del suelo de expansión Aranda como área generadora de espacio público por cargas locales como estrategia para el reequilibrio de los soportes territoriales y como *“áreas de articulación y encuentro destinadas a satisfacer las necesidades de recreación, esparcimiento y ocio de un grupo de barrios”*.

- Área de Influencia del sector Aranda

El diagnóstico territorial 2021 elaborado por la secretaria de Planeación municipal, realiza el análisis del indicador de Epef para cada sector censal DANE 2018. Se identifica como área de influencia del Plan Parcial Aranda central, al sector de Aranda, Comuna 10, Sector censal 27, donde se encontraron los siguientes datos del indicador de espacio público asociado a parques, plazas y plazoletas por habitante actualizado al año 2021:

Parques, Plazas y Plazoletas en relación con sectores censales DANE 2018

Sector DANE	Área m2 de Epéf	Población	M2/Hab	% de población urbana	% de EP en suelo urbano
27	8,108	18,196	0.4	6.0	0.03

Tabla 7. Indicador de Epéf, sector censal 27 – Sector Aranda

Fuente: SPM 2021

El mismo diagnóstico territorial 2021, actualiza la información concerniente a la oferta de zonas verdes existentes en el área urbana de Pasto, definiendo lo siguiente:

La siguiente tabla refleja la cantidad de zonas verdes por sector censal de acuerdo con el Censo DANE 2018:

Zonas verdes públicas en relación con sectores censales DANE 2018

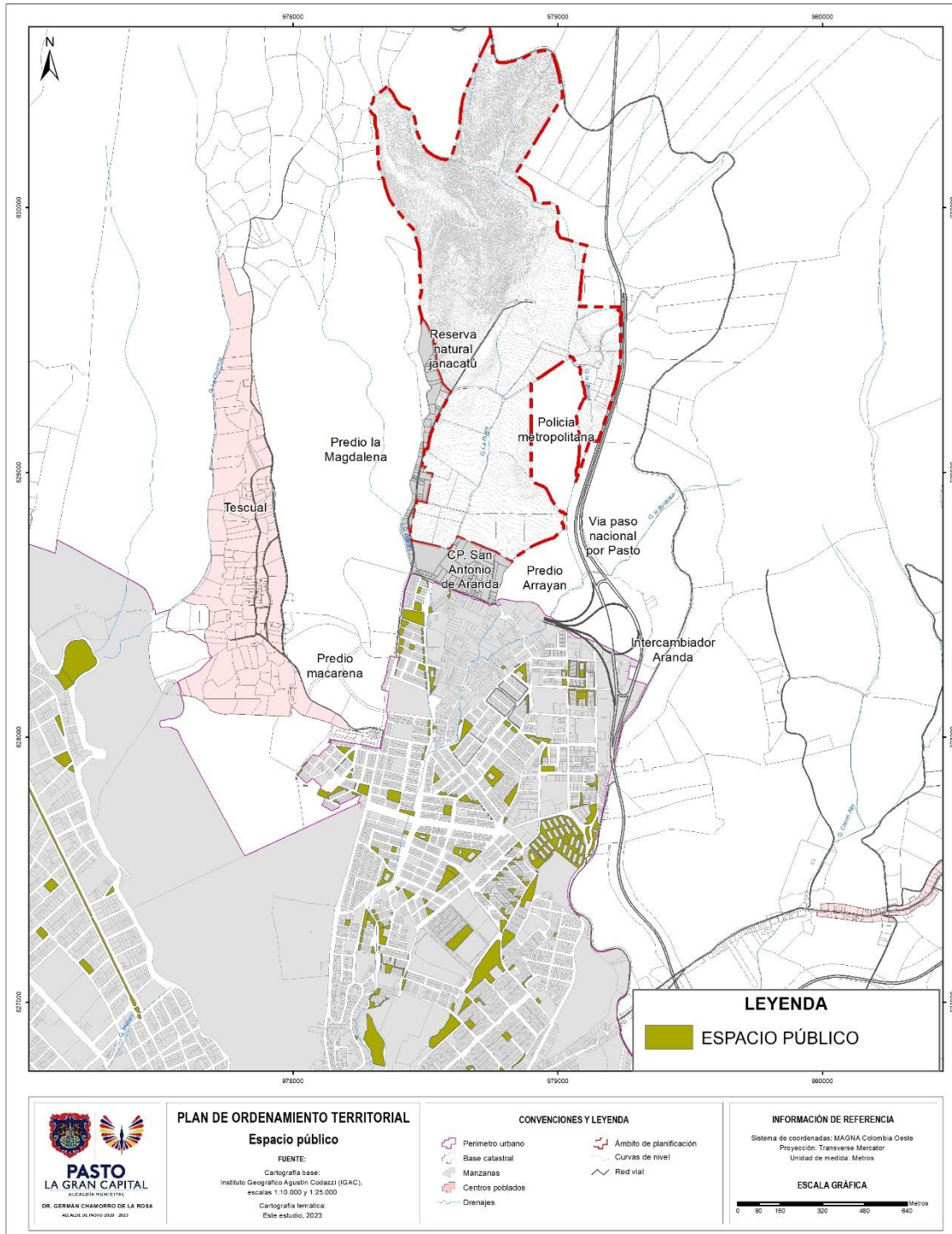
Sector DANE	Área Zv m2	Población	M2/Hab	% de población urbana	% de AV en suelo urbano
27	41,709	18,196	2.3	6.0	0.18

Tabla 8. Indicador de zonas verdes, sector censal 27 – Sector Aranda

Fuente: SPM 2021

Además del déficit de espacio público que se encuentra en el área de influencia, los elementos existentes no cumplen confortablemente su función de ser articuladores y estructurantes fundamentales del espacio en el municipio, ni mucho menos reguladores de las condiciones ambientales del mismo. Los pocos elementos de espacio público del sector no cuentan con alta calidad ambiental ni paisajística y la calidad funcional que ofrecen es deficiente. Carencia de mobiliario apropiado, de señalización, excesos de barreras físicas y materiales inadecuados, se suman a la escasa arborización y a la ausencia de zonas verdes de cesión pública.

Así mismo, no existe articulación de los elementos de espacio público presentes en el área de influencia, con los elementos de la estructura ecológica municipal.



Mapa 7. Inventario de Espacio Público en el área de influencia del Plan Parcial Aranda Central
Fuente: SIG P.O.T. SPM 2021

1.5.4 Sistema de Equipamientos⁴

Los equipamientos son áreas, edificaciones e instalaciones de uso público o privado destinados a proveer a los ciudadanos de los servicios colectivos de carácter formativo, cultural, de salud, deportivo recreativo y de bienestar social, al mismo tiempo prestan apoyo funcional a la administración pública y a los servicios básicos del municipio en el área urbana y rural, constituyéndose en elementos principales y ordenadores en cuya localización interviene el municipio con el fin de asegurar un impacto social óptimo de los servicios existentes y futuros.

- Nivel Municipal

El Documento Técnico de Soporte del POT Pasto, señala que existe un desequilibrio en la distribución de los equipamientos en las 12 comunas, pues la comuna 9 es donde más equipamientos se localizan, y la comuna 12 es la que más presenta déficit. Así también, se encuentra que en algunas comunas la población es mayor pero que los equipamientos no son proporcionales a este número de personas, causando un desequilibrio en la cobertura

De acuerdo con el Diagnóstico territorial elaborado por la secretaria de Planeación municipal en 2021, Pasto cuenta con 164 establecimientos educativos, en los que funcionan 255 sedes distribuidas en todas las comunas y corregimientos del municipio, entre los 164 establecimientos educativos del municipio, 50 son de carácter oficial y 114 no oficiales, en la zona urbana se encuentran 51 sedes oficiales y 114 privadas. Se registran 12 IPS del sector público que tienen presencia en el municipio de Pasto de acuerdo a las comunas del municipio y su nivel de cobertura; particularmente en la comuna 10, se registraron dos establecimientos: el Centro de salud Primero de mayo y la IPS Caprecom establecimiento penitenciario de Pasto.

La siguiente tabla refleja los equipamientos existentes en el área de Influencia del Plan parcial Aranda Central:

TIPOLOGIA	DESTINACION	AREA Has.
Apoyo a infraestructura de vías y transporte	Patio de buses de transporte público	0,00
	Hogar Comunitario Personitas del Mañana	0,02
Bienestar Social	JAC Vereda San Antonio de Aranda	0,01
	Jardín Social Gólicas de Felicidad	0,89
Cultura	Trasmisores de radio la Voz del Galeras	3,33
Educativo	Aulas de formación continuada Parque Reserva Natural JANACATU	62,30
	IEM Ciudadela de la Paz	4,29
Recreativo y deportivo	Juegos recreativos Vereda San Antonio de Aranda	0,13
	Placa Polideportiva Vereda San Antonio de Aranda	0,08
Seguridad, justicia y convivencia	Policía Metropolitana de Pasto	8,05

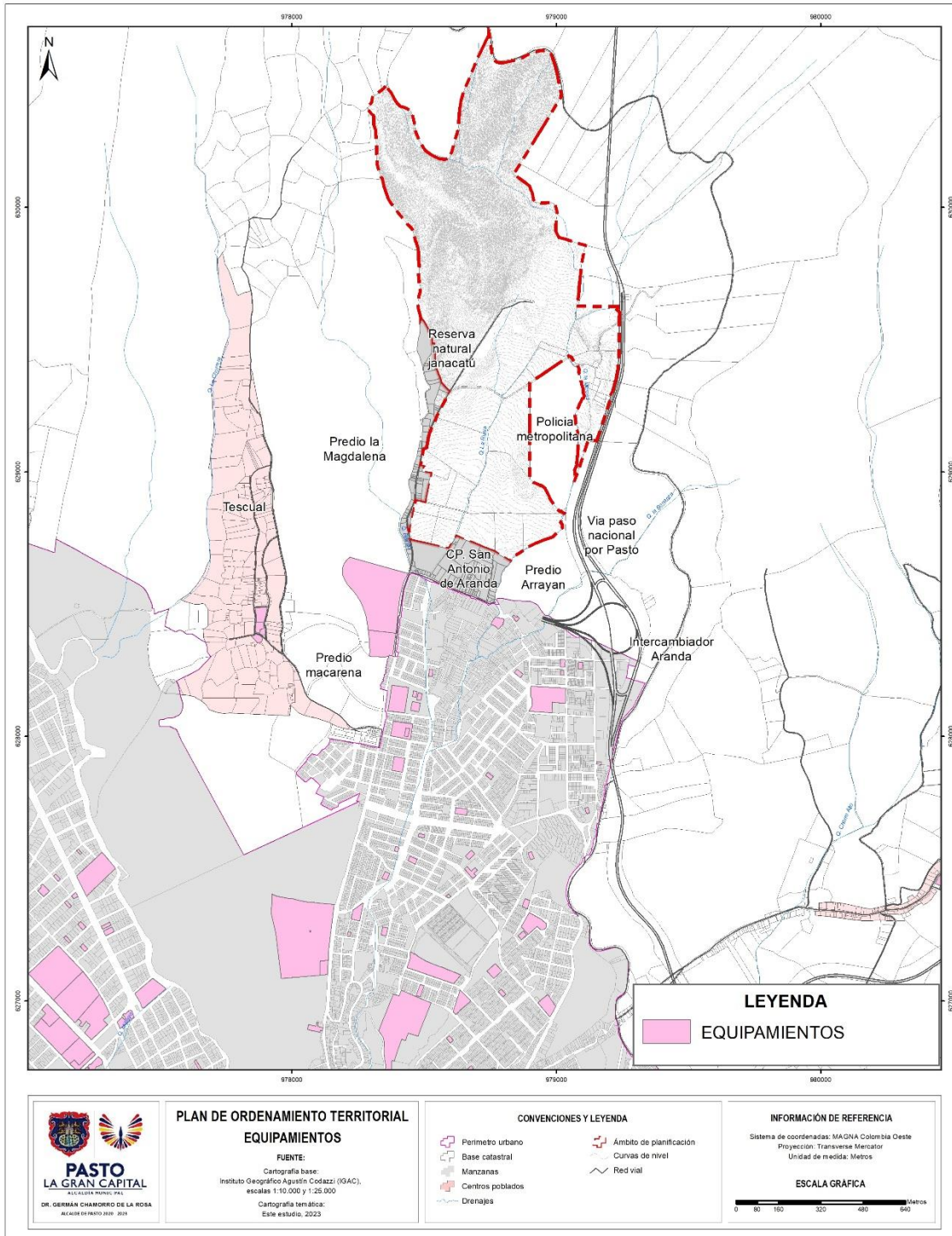
⁴ Con base en Alcaldía municipal de Pasto – CIDETER. Plan DTS Documento Técnico de Diagnóstico. 2016 y Diagnóstico territorial 2021. Pasto

TIPOLOGIA	DESTINACION	AREA Has.
Apoyo a infraestructura de vías y transporte	Parqueadero de Buses C15, C11 Y C9	0,61
	Parqueadero de Buses E07	0,11
Bienestar Social	Hogar Comunitario Vereda Tescual	0,05
	JAC Barrio Quillotocoto	0,01
	Salón comunal Portal de Aranda	0,04
Culto	Capilla Divino Niño	0,02
	Capilla Doctrinera de Tescual	0,03
	Capilla Nuestra Señora de Aranda	0,07
	Iglesia Nuevo Sol - Corpus Cristi	0,19
Educativo	Escuela mixta 1 de mayo	0,08
	Sede Nuevo Sol IEM Ciudadela de la Paz	0,23
Recreativo Deportivos	Piscina semiolímpica y unidad deportiva de Aranda	1,68
Funerarios	Cementerio Veredal de Aranda	0,06
	Cementerio Veredal de Tescual	0,05
Salud	Centro de Salud 1 de mayo	0,03

Tabla 9. Equipamientos existentes en el sector Aranda – Comuna 10
Fuente: Plan parcial Aranda. SPM – Cideter 2016 - SPM Pasto, 2021

Entre los equipamientos de educación, salud, recreación y deporte, cultural y abastecimiento de alimentos suman 182,62 hectáreas, de las cuales 100,4 corresponden al sector privado y 82,58 al sector público, correspondiendo estos equipamientos al 7,78% del suelo en el perímetro urbano.

El Acuerdo 004 de 2015 delimitó en la Comuna 10 del Municipio, la Centralidad Local Aranda, que corresponde a “zonas que involucran equipamientos necesarios para la satisfacción de necesidades básicas de la población, con cobertura sectorial, que atienden a la comunidad residente y a la población flotante de su área de influencia inmediata, apoyando al equilibrio económico en los pequeños sectores y vinculando la red municipal de parques”.



Mapa 8. Inventario de Espacio Público en el área de influencia del Plan Parcial Aranda Central
Fuente: SIG P.O.T. SPM 2021

- Cálculo estimativo para cubrir el déficit de equipamientos⁵

El cálculo del déficit parte del concepto de estándar, el cual se entiende como una herramienta, expresada en cifras, para determinar la cantidad y capacidad óptima de los equipamientos necesarios para atender la demanda de servicios de una población determinada. Para la cuantificación del déficit en el ámbito de influencia, se utilizó el estándar general que mide la cantidad de equipamientos que debe tener una población definida, Para ello se hizo uso de los estándares formulados para el Sistema Distrital de Equipamientos de Bogotá, los cuales se basan en la dotación necesaria para una población de 100.000 habitantes⁶.

Para el cálculo del déficit en el área de influencia se procedió a utilizar el indicador expresado en la siguiente tabla.

Equipamientos por población según estándar Equipo/hab.	
Descripción	El indicador mide la cantidad de equipamientos necesarios para lograr el estándar planteado por el Sistema Distrital de Equipamientos
Nivel Geográfico	Área de influencia
Formulación	$Equip. Nec. ij = \left[\frac{Total pob.}{Pop. Estandar ij} \times Equip ij Estandar \right] - Equip ij Exist.$ <p>Tipo de equipamiento corresponde a: i Escala del equipamiento corresponde a: j</p>

Tabla 10. Equipamientos por población según estándar Equipo/habitante.
Fuente: Convenio SDP Uniandes 300-2009

De acuerdo con el Área neta urbanizable del Plan Parcial Aranda Central se estima una densidad de vivienda de hasta 160 Viviendas/Hectárea que teniendo en cuenta el área útil del proyecto, corresponde aproximadamente a 4.600 viviendas y 17.480 habitantes.

Es necesario resaltar que este indicador se calcula para los equipamientos colectivos en los que se prestan servicios sociales que deben estar vinculados directamente con las áreas residenciales. Es el caso de la educación, la salud, la cultura y la recreación y deporte.

En concordancia con los datos anteriormente expuestos, se estima la cantidad de m² construidos que deben existir por sector, teniendo en cuenta la revisión de estándares realizada en el mismo estudio. Así mismo, la siguiente tabla presentan los metros cuadrados de equipamiento óptimo por habitante, estimados por la población proyectada para el ámbito del Plan parcial Aranda Central:

Sector	Estándar ajustado	M2 de equipamiento óptimo por número estimado de habitantes
Educación	Colegio completo	2.4
	Preescolar	0.4
	Primaria	1.8
	Secundaria	0.8
Salud	Centro de salud	0.1

⁵ Tomado de: Alcaldía municipal de Pasto – CIDETER. Plan DTS Documento Técnico de Diagnóstico. 2016

⁶ Convenio SDP Uniandes 300-2009

	Sector	Estándar ajustado	M2 de equipamiento óptimo por número estimado de habitantes
	Hospital nivel 1	0.1	1,748.00
Cultura	Centro cultural	0.02	349.60
	Biblioteca	0.02	349.60
	Teatro - Auditorio	0.02	349.60
	Instalación	0.1	1,748.00
Recreación y Deporte	Escenario	0.1	1,748.00
	TOTAL	5.86	102,432.80

Tabla 11. Estándar área construida por habitante.
Fuente: Convenio SDP Uniandes 300-2009. SPM Pasto, 2023

El conjunto de indicadores antes mencionados, se presentan como guía para orientar la actuación pública en relación a la solución del déficit de equipamientos del sector Aranda que incluya el análisis de la población actual y proyectada de acuerdo con la propuesta urbanística y de aprovechamientos para suelo de vivienda en el ámbito del Plan Parcial Aranda Central.

1.5.5 Norma de Usos y Aprovechamientos Urbanísticos

De conformidad con el Acuerdo 004 de 2015, la norma aplicable de usos y aprovechamientos urbanísticos para Plan parcial Aranda Central, se encuentra consignada en los siguientes artículos:

1.5.5.1 Áreas mínimas resultado de la actuación de urbanización

Artículo 226. Áreas mínimas resultado de la actuación de urbanización en suelo de expansión. En concordancia con el modelo de supermanzana adoptado por el presente Plan, en el suelo de expansión urbana las áreas resultantes de la ejecución de la actuación de urbanización tendrán una dimensión mínima de 400 metros de lado en supermanzana.

1.5.5.2 Amenazas y Riesgos

El área del plan está clasificada con riesgo bajo, para predios urbanos en condición de Riesgo bajo por Amenaza Volcánica, el P.O.T. se aplica la edificabilidad 1 con opción de aplicar la edificabilidad 2 en el contexto del plan parcial y por aplicación del parágrafo del artículo 256 la altura máxima permitida es de 12 pisos

1.5.5.3 Usos del suelo

El modelo de ciudad del P.O.T., plantea Áreas de Actividad con mixticidad de usos en las cuales el Uso Residencial es Uso Principal. Los nuevos desarrollos en áreas de actividad de expansión deberán posibilitar las condiciones urbanísticas que permitan la convivencia armónica con usos complementarios.

Los usos comerciales son complementarios, se incluye la implantación de locales comerciales y por lo tanto se permite su desarrollo en el plan parcial siempre y cuando se planteen las condiciones urbanísticas para la mitigación del impacto urbanístico.

Los usos Permitidos, Compatibles y Prohibidos que aplican al Plan parcial Aranda Central se corresponden con los usos asignados al suelo de expansión para las Áreas residenciales

mixtas por fuera de la centralidad y la Zona industrial y hacen parte del Anexo AE2 Asignación y usos de suelo, del Acuerdo 004 de 2015.

1.5.5.4 Edificabilidad

En relación con la edificabilidad aplicable, el Artículo 250 prevé:

Artículo 250. Tipos de edificabilidad. En el suelo urbano del municipio de Pasto se identifican los siguientes tipos de edificabilidad:

- (...) Edificabilidad tipo 5. Es la edificabilidad a la que se puede acceder en un predio para desarrollar actuaciones de urbanización y edificación una vez aprobado el plan parcial de desarrollo, en suelo urbano y de expansión.
- Para la aplicación de este tipo de edificabilidad se deberán cumplir de forma obligatoria a los parámetros del artículo 250 del POT para la edificabilidad 5.

Edificabilidad	Actuación Urbanística	Tipo Edificatorio	Índice de Construcción máximo	Índice de ocupación máximo	Altura	Cargas urbanísticas	Condiciones
5	Urbanización y construcción	Cualquier tipo edificatorio	Definidos en el plan parcial de conformidad con las densidades establecidas en el presente acuerdo.	Aplicable al área útil después de la determinación de las áreas de cesión in situ.	En tipología adosada a definir en el plan parcial bajo los parámetros de las alturas establecidas para las edificabilidades 1 y 2. Para tipología aislada se aplican los rangos de altura de la edificabilidad tipo 3.	Cargas tipo 5	Cumplimiento de normas volumétricas

- Edificabilidad aplicable para los usos de vivienda y para comercio en el área del plan parcial Aranda Central

Como lo señala el P.O.T. Artículo 221, la Edificabilidad: Tipo 5 será aplicable para el Tratamiento de Desarrollo mediante Plan Parcial en Suelo Urbano y Suelo de Expansión, bajo los siguientes parámetros:

- En tipología Adosada la permitida para la Edificabilidad 1 y 2
- En tipología Aislada la permitida Edificabilidad 3
- Índice de Construcción máximo: Definidos en el Plan Parcial de conformidad con las densidades establecidas en el Acuerdo en función de ello se puede definir en el plan el modelo de alturas en concordancia con lo previsto en el POT,

1.5.5.5 Cargas urbanísticas

En materia de cargas urbanísticas, el artículo 256 establece:

Artículo 256. Carga tipo 5. Es la carga que se establece para la edificabilidad tipo 5.

Para el cálculo de estas cargas urbanísticas se aplican las siguientes fórmulas:

Para cesión:

- Espacio Público Efectivo

Densidad en viviendas /Ha	Cesión para espacio público efectivo
Menor de 160	25% del ANU
Entre 160 y 249	30% del ANU
Entre 250 y 350 (máxima)	35% del ANU

Tabla 12. Densidades de vivienda
Fuente: Acuerdo 004 de 2015- POT Pasto

Vías

Corresponde al mayor valor entre el 10% del área neta urbanizable y la cuantificación de las vías del diseño urbanístico. En todo caso si el diseño demanda un porcentaje menor al 10%, el excedente se aplicará al espacio público efectivo.

Mayor valor entre 10% ANU y m2 (vías x Demanda)]

- Equipamientos.

Corresponde al 5% del área neta urbanizable.

Parágrafo primero. - Las cargas urbanísticas tipo 5 establecidas para la edificabilidad tipo 5 corresponden únicamente a cesiones in situ en el proyecto.

Parágrafo segundo. - La altura máxima permitida para la edificabilidad tipo 5 es de 12 pisos.

Parágrafo tercero. - Las obligaciones de vivienda de interés prioritario pueden ser trasladadas al plan parcial Aranda, bajo los lineamientos de la Secretaría de Planeación y la gestión del Instituto de Vivienda INVIPASTO, o la entidad que haga sus veces."

1.5.5.6 Características de las cesiones

Artículo 258. Características de las cesiones para actuaciones de urbanización en edificabilidad 4, 5 y 6 en suelo urbano. Las cesiones destinadas a parques, vías y equipamientos en actuaciones de urbanización en edificabilidades 4, 5 y 6 en suelo urbano deberán cumplir con las siguientes características:

1. Las áreas de cesión de espacio público efectivo deberán entregarse en un solo globo de terreno. Se entiende por un solo globo de terreno la cesión de áreas que no se encuentran interrumpidas por otras con destinación diferente tales como vías, equipamientos, polideportivos, entre otros.
2. El área mínima del espacio público efectivo a ceder en un solo globo de terreno será de 700 metros cuadrados en licencia de urbanización para la edificabilidad tipo 6 y 4 y de 2000 metros cuadros en planes parciales de desarrollo.
3. La totalidad del área a ceder deberá tener acceso desde vía pública.
4. Las áreas de cesión deberán quedar totalmente construidas, adecuadas, empedradas y dotadas de mobiliario, de acuerdo con lo establecido en el Capítulo IV "Sistema de Espacio Público" del Título IV "Estructura Funcional y de Servicios", sobre lineamientos para el diseño y construcción del espacio público de

la red municipal de parques y las reglamentaciones específicas que realice la administración municipal. (subrayas fuera de texto original. Tener en cuenta el decreto 280 de 6 de agosto de 2021 "Por el cual se establecen los procedimientos para el trámite de entrega de cesiones en actuaciones urbanísticas a favor de la Administración Municipal y se dictan otras disposiciones.")

5. Los aislamientos, retrocesos y antejardines de las edificaciones no se constituyen en cargas urbanísticas y por tanto no podrán ser compensadas en dinero, ni canjeados por otros inmuebles.
6. El diseño de vías en las actuaciones de urbanización deberá sustentarse técnicamente en el modelo de supermanzana descrito en el capítulo II "Sistema de Movilidad" del Título IV "Estructura Funcional y de Servicios".
7. El suelo a ceder destinado a equipamientos deberá entregarse en un solo globo de terreno con acceso desde vía pública.

Artículo 259. Entrega material de las áreas de cesión. La entrega material de las cargas urbanísticas que se cumplen bajo la modalidad de cesión, a cargo del titular de la licencia, así como la ejecución de las obras y dotaciones sobre dichas zonas, se verificará mediante inspección.

La Administración Municipal reglamentará en un plazo máximo de un mes, contado a partir de la entrada en vigencia del presente acuerdo, lo relacionado con la diligencia de inspección y los actos de recibo de las cesiones.

Artículo 260. Entrega anticipada de cesiones. Los propietarios de predios sin urbanizar podrán proponer al municipio, o este a aquellos, la cesión de porción o porciones de dichos predios que se recibirán a título de zonas de cesión de desarrollos urbanísticos futuros, siempre y cuando, resulten convenientes para proyectos de interés general o utilidad pública contemplados en el presente Plan o en los instrumentos que lo desarrollen o complementen."

- Las áreas o inmuebles declarados como bienes de interés cultural y las condiciones para su manejo. Al interior del área de planificación del Plan Parcial Aranda Central no se encuentran Bienes de Interés Cultural declarados o por declarar, razón por la cual en el presente acápite no se emiten determinantes en ese sentido.
- La delimitación de las afectaciones urbanísticas y la indicación y reglamentación de las zonas de reserva para la construcción de las infraestructuras primarias viales, de transporte, las redes matrices de servicios públicos, así como los espacios públicos de carácter estructural.

1.5.5.7 Densidades

En relación con las densidades en planes parciales para suelo urbano y de expansión el artículo 225 del Plan de Ordenamiento Territorial establece:

Artículo 225. Densidades en áreas sujetas a aprobación de plan parcial de desarrollo para suelo urbano y de expansión.

Las densidades en áreas sujetas a aprobación de plan parcial de desarrollo para suelo urbano y de expansión, sin aporte a cargas generales: (...)

Suelo de expansión	Densidad máxima
Zona de expansión Aranda	118 viviendas / hectárea

Parágrafo primero. - La densidad de vivienda definida en el presente artículo para la zona de expansión Aranda aplica únicamente para el área definida para el uso residencial espacializada en el Plano EE1.

Parágrafo segundo. - En suelo de expansión las densidades se fijan sobre el área neta urbanizable.

Parágrafo tercero. - Las densidades en planes parciales se podrán incrementar hasta un máximo de 350 viviendas por hectárea de área neta urbanizable como aprovechamiento adicional, siempre y cuando los propietarios participen en cargas generales, con excepción de los planes parciales que se desarrollen en las áreas morfológicas G5 - sector S3 y G6 sectores S1, S2, S3 y S4, los cuales podrán alcanzar una densidad máxima de 120 viviendas por hectárea con participación de cargas generales.

Parágrafo cuarto. - El porcentaje de cargas generales requeridas para acceder al aprovechamiento adicional quedará definido en el acto administrativo expedido por la Secretaría de Planeación Municipal de acuerdo a lo establecido en la normatividad de garantizar un desarrollo integral del sector y del plan y el reparto nacional. En ningún caso el acceso a aprovechamiento adicional se entenderá como modificación a las normas urbanísticas sobre índice, edificabilidades, alturas máximas, volumetrías, entre otros.

1.5.5.8 Estructuración del plan parcial

El Plan Parcial Aranda Central debe plantearse a partir de la estructura de la red vial arterial del suelo de expansión del Plan Parcial Aranda, de tal forma que se conecte con la estructura vial del Plan Parcial Policía Metropolitana decreto 177 de 2021, construyendo una propuesta integral articulada orientada al desarrollo urbanístico planificado con criterios de movilidad sostenible, mediante la implementación de la Supermanzana como célula de ordenamiento del tráfico rodado y el privilegio del peatón y las áreas de espacio público efectivo para la comunidad.

La vía de conexión con la estructura urbana será desarrollada por el Municipio o los desarrolladores en un modelo de cargas y beneficios.

1.6 DETERMINANTES AMBIENTALES

El Plan Parcial Aranda Central deberá regirse por las disposiciones adoptadas por el Acuerdo 004 de 2015 atendiendo la indicación y reglamentación de las áreas de reserva y protección ambiental, las zonas de amenaza y riesgo y las condiciones específicas para su manejo definidas por el Plan de Ordenamiento Territorial POT Pasto Territorio Con Sentido y la Corporación Autónoma Regional de Nariño, CORPONARIÑO quien expidió las determinantes ambientales el día 03 de octubre del 2016, mediante oficio 8272 suscrito por el jefe de Planeación y Direccionamiento Estratégico de la Entidad.

1.6.1 Estructura ecológica municipal

En la formulación de la estructura ambiental, específicamente en la identificación de los elementos de la Estructura Ecológica Municipal, se deberá tener en cuenta lo previsto por el Plan de Ordenamiento territorial en cuanto a:

Artículo 50. Componentes de la estructura ecológica municipal. La estructura ecológica municipal está conformada por el sistema de áreas protegidas, las áreas de especial importancia ecosistémica, las áreas de calidad ambiental y paisajística y los corredores ecológicos. Los componentes de la estructura ecológica del municipio se encuentran espacializados en el plano EA1.

Artículo 53. Clasificación del sistema de áreas protegidas en el Municipio de Pasto. El sistema de áreas protegidas del municipio de Pasto se clasifica en: (...) ... **2. Iniciativas de conservación:**

- Reserva natural Pullitopamba
- Red de reservas naturales de La Cocha
- Red de reservas naturales Galeras
- **Reserva Natural Janacatú**
- El Rincón (Vereda Cruz de Amarillo)

Artículo 62. Rondas hídricas. Hasta la entrada en vigencia de la delimitación de las rondas hídricas que realizará la Corporación Autónoma Regional, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 1450 de 2011, se establecen las siguientes franjas de protección hídrica:

Cuerpos hídricos	ANCHO DE FRANJA SUELO URBANO		Ancho de franja suelo rural
	Pedios o áreas colindantes con el cuerpo hídrico	Pedios separados del cuerpo hídrico por infraestructura vial	
Cuerpos hídricos en su zona no canalizada.	Una franja no menor de 30 metros de ancho, paralela a la línea de aguas máximas, a cada lado de los cauces de los cuerpos hídricos.	Aplica el plano No. EA30 denominado Rondas Hídricas en el suelo urbano.	Una franja no menor de 30 metros de ancho, paralela a la línea de aguas máximas, a cada lado de los cauces de los cuerpos hídricos.
Lagos, lagunas, embalses	En lagos artificiales en parques urbanos 30 metros		Un área correspondiente a la dinámica del cuerpo hídrico y su franja de 30 metros a partir de la línea media de aguas máximas.

Parágrafo. - La medición de las franjas de protección hídrica se realiza desde el borde de la línea de aguas máximas.

Las rondas hídricas en suelo urbano y de expansión se encuentran especializadas en el plano EA30.

Artículo 78. Corredores ecológicos. Son las áreas y los espacios que unen elementos del Sistema de Áreas Protegidas entre sí o con otros elementos de la Estructura Ecológica Municipal, contribuyendo a mitigar y controlar los efectos de la fragmentación de hábitat, así como al mantenimiento de la biodiversidad, garantizando tanto una oferta de bienes y servicios ambientales como ecosistémicos de soporte y regulación hídrica. Los corredores ecológicos se encuentran espacializados en el plano EA3.

Artículo 81. Corredores ecológicos de transición rural. Son espacios naturales o seminaturales con la función de conectar ecológicamente áreas de importancia ecosistémica y áreas protegidas localizadas en el suelo rural y de expansión urbana, así como elementos de la estructura ecológica municipal en áreas de borde urbano rural, para la conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales y ecosistémicos. En todos los casos estos corredores constituyen una estrategia complementaria de contención del crecimiento urbano.

Forman parte de los corredores ecológicos de transición rural:

(...) ... b. Corredor ecológico de transición rural Morasurco– Cabrera. Está conformado por parte de los corregimientos de Morasurco, Buesaquillo y Cabrera, conectándose con la propuesta del Parque Fluvial del río Pasto y con el corredor ecológico de transición rural de las cuencas Pasto, Bobo y Guamuez.

1.7 BASE CARTOGRÁFICA – COMPONENTE GENERAL Y DE RIESGOS

1.7.1 Metodología

La cartografía es considerada como la ciencia aplicada que se encarga de reunir, realizar y analizar medidas y datos de regiones de la tierra, para representarlas gráficamente con diferentes dimensiones lineales (Raisz, 2005). Siguiendo esta concepción es indispensable incluir en todos los estudios técnicos y científicos estaciencia, pues de ella depende la adecuada representación de los elementos del territorio de tal manera que se puedan definir en un contexto más amplio incluso si están fuera de nuestro campo visual, a través de ello se pueden generar conocimientos precisos de lo que se quiere estudiar además de establecer parámetros y medidas que permitan realizar estudios óptimos apoyados en las nuevas tecnologías.

La sistematización de la cartografía tradicional a través de programas especiales ofrecen un sinnúmero de herramientas para realizar procesos, así mismo la teledetección juega un papel fundamental pues de esta depende la representación gráfica de la superficie terrestre por medio de imágenes satelitales permitiendo realizar actuaciones adecuadas sobre el

territorio, sin embargo como todo proceso requiere un orden que nos lleve a un resultado esperado es por ello que es necesario realizar un proceso metodológico adecuado.

Para llevar a cabo un proceso exitoso de generación de cartografía se requiere ser minucioso en la obtención y generación de insumos de los cuales dependerá el resultado final, en este sentido es indispensable realizar actividades de reconocimiento a través de trabajo de campo, hacer contrastes de información con el fin de ejecutar análisis comparativos que lleven a determinar la veracidad y confiabilidad de la información a utilizar, el nivel de detalle para llegar a una escala 1:2.000 es riguroso por ende se requiere seguir unas fases las cuales para el presente estudio se han definido en tres y se presentan a través del siguiente esquema.

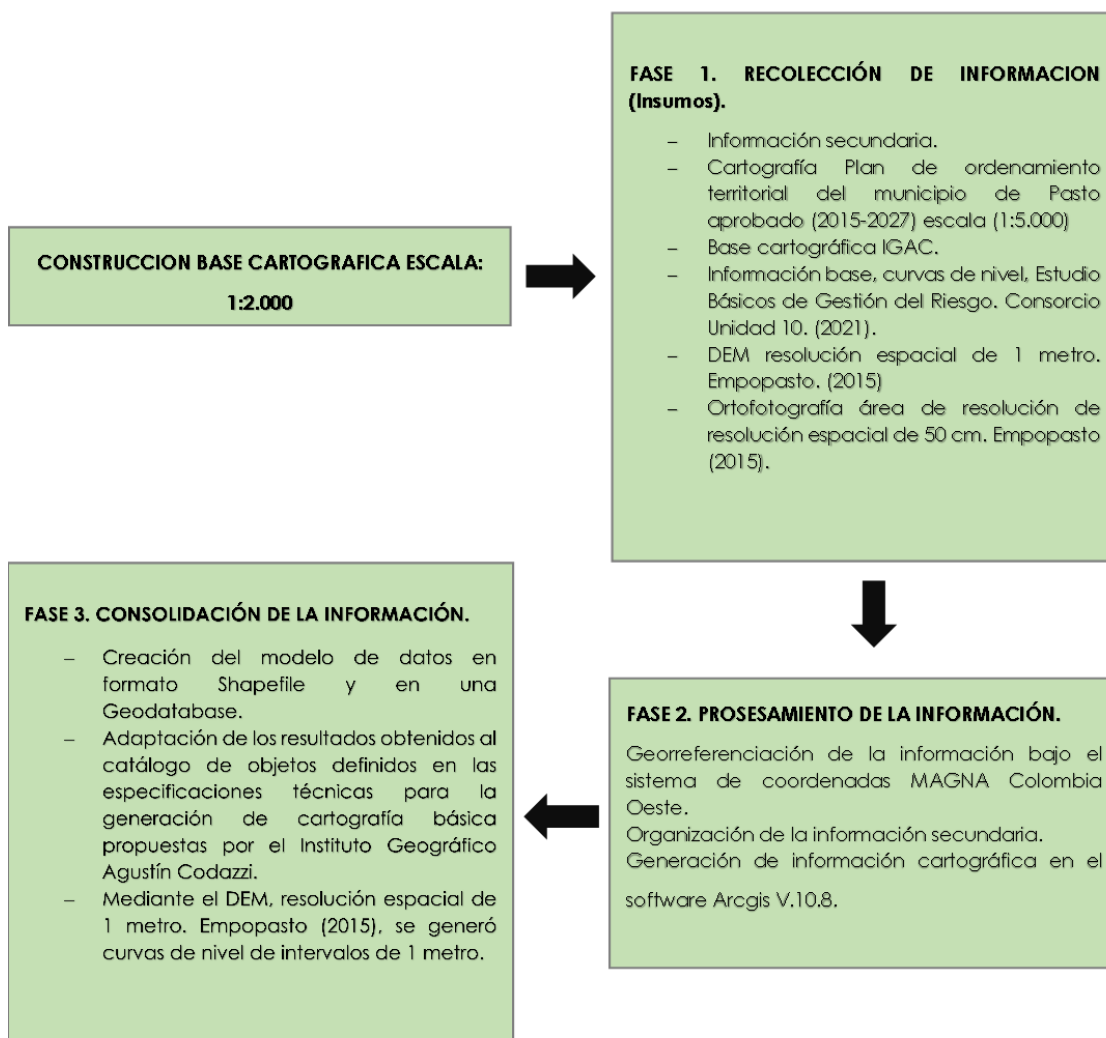


Figura 1. Construcción base cartográfica escala 1:2000.

1.7.2 Fase 1. Recolección de información.

El proceso de recolección de información se realizó a través de dos medios, información primaria e información secundaria, a continuación, se realiza la descripción del tipo de información obtenida.

- **Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pasto.** Construido en el año 2015 y vigente hasta la fecha, de la información suministrada se tomó como referencia las capas que constituyen el plano base a escala 1:5000; con el fin de tener el punto de partida para la programación de actividades en campo y construir la cartografía en escala 1:2.000.
- **Base cartográfica IGAC.** Con este referente se puede determinar la situación catastral del área de estudio, este insumo es fundamental porque permite la identificación de elementos ambientales y administrativos para una visión amplia del sector y todos sus componentes.
- **Información base, curvas de nivel, Estudio Básicos de Gestión del Riesgo. Consorcio Unidad 10. (2021).** Información de referencia para la producción cartográfica de contexto.
- **DEM de apoyo resolución espacial de 1 metro. Empopasto. (2015)** Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. El modelo digital de elevación para estudio fue suministrado por la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto (Empopasto) de resolución espacial de 1 metro, permitirá la calibración de los elementos generados producto de mediciones directas en trabajo de campo y levantamientos topográficos, como creación de modelo de Análisis de terreno (mapa de pendientes), análisis geológicos y geomorfológicos, creación de modelos climáticos e hidrológicos, apoyo de análisis estadísticos (precipitación, temperatura, flujos hídricos), entre otros.
- **Ortofotografía área de resolución de resolución espacial de 50 cm. Empopasto (2015).** La resolución de una fotografía área es directamente proporcional a la medida del pixel, es por ello que son consideradas imágenes de mayor resolución las que poseen un número inferior a diez metros por pixel, lo que permite procesar información con datos precisos, fiables y actualizados que ofrecen enormes ventajas para la detección, estos insumos permitirán el apoyo en la identificación de elementos naturales, ambientales, administrativos y artificiales y garantizarán la correcta referencia espacial y permite una visión amplia del sector y todos sus componentes.

Escala del mapa = Resolución del ráster (en metros) * 2 * 1000

Escala	1 cm igual a		1 mm igual a		Área mínima cartografiable (4*4)	
	M	km	M	km	M2	Km2
1:500	5	0.005	0.5	0.0005	4	0.000004
1:1.000	10	0.01	1	0.001	16	0,000016
1:2.000	20	0.02	2	0.002	64	0,000064
1:5.000	50	0.05	5	0.005	400	0,0004

Escala	1 cm igual a		1 mm igual a		Área mínima cartografiable (4*4)	
	M	km	M	km	M2	Km2
1:10.000	100	0.1	10	0.01	1,600	0,0016
1:20.000	200	0.2	20	0.02	6,400	0,0064
1:25.000	250	0.25	25	0.025	10,000	0,01
1:50.000	500	0.5	50	0.05	40,000	0,04
1:100.000	1,000	1	100	0.1	160,000	0,16
1:250.000	2,500	2.5	250	0.25	1,000,000	1
1:500.000	5,000	5	500	0.5	4,000,000	4
1:1.000.000	10,000	10	1000	1	16,000,000	16
1:6.000.000	60,000	60	6000	6	576,000,000	576

Tabla 13. Clasificación de Salitchev.

1.7.3 Fase 2. Procesamiento de la Información.

En esta fase se toman los datos previamente almacenados tanto en campo como en información secundaria se los organiza por carpetas de acuerdo al Organigrama de la Información. Posteriormente se crea una Geodatabase que permita compartir datos sin perder Detalles.

- **Generación de información.** El sistema de coordenadas manejado es el mismo en todas las capas y corresponde a MAGNA Colombia Oeste de acuerdo a los lineamientos establecido por el IGAC se establece una relación y ajuste de capas para que no haya traslapes y todo tenga perfecta relación para la generación de nuevas capas temáticas.
- El ajuste de la escala se hace a partir de los insumos que se generarán producto del proceso de recolección de información, cabe resaltar que el IGAC tiene una guía de especificaciones técnicas para la generación de cartografía básica a escala 1:2.000 la cual se aplicará en este estudio. En ella menciona todos los elementos que se deben digitalizar a esta escala o nivel de detalle, así mismo los intervalos en las curvas de nivel y la representación gráfica de los elementos.
- **Shapes Base.** Shape es un tipo de archivo creado por ESRI se puede generar de tres formas punto, polígono o polilínea, en el proyecto de acuerdo a las características estos se integran en una sola carpeta la cual contiene la información inicial es decir toda la base que es inmodificable y contiene los elementos que integran el área de estudio tales como drenajes, curvas de nivel, vías, entre otros, los cuales se detallarán en la fase consolidación de la información.
- **Shapes temáticos.** Son las capas generadas con el fin de construir productos específicos como: geología, geomorfología, pendientes, cuencas, entre otros, estos se organizarán en una sola carpeta de acuerdo a su clasificación.

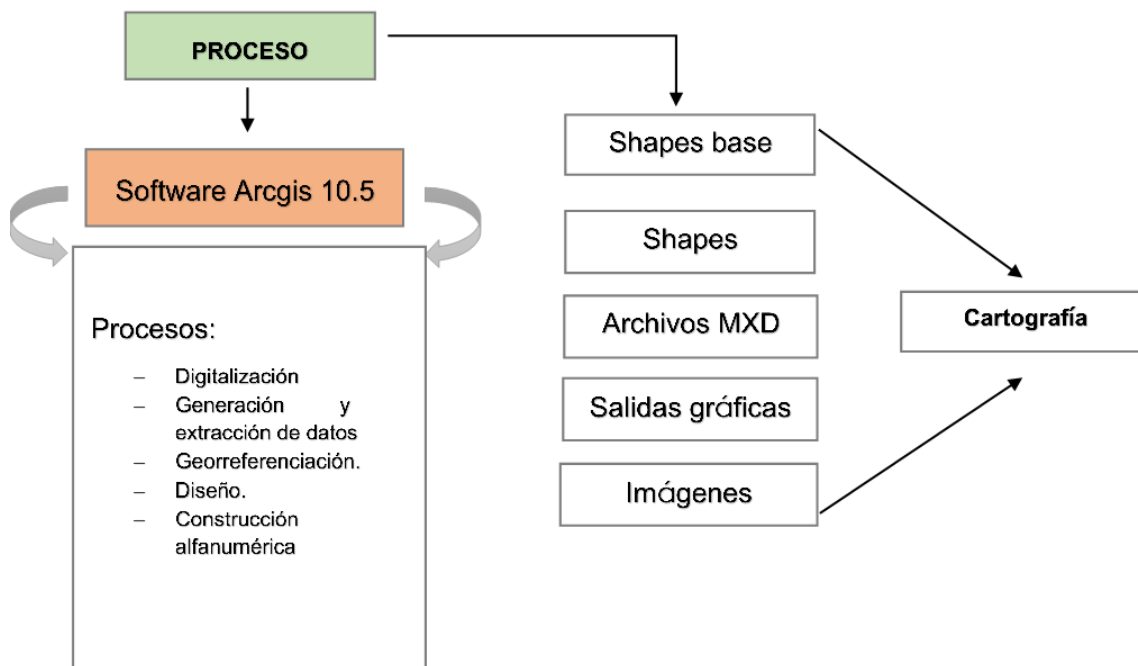


Figura 2. Organigrama de Información.

- **Archivos MXD.** Son archivos editables generados por el software Arcgis a través de Arc Map V.10.5 estos contienen toda la información de los shapes así como su configuración y simbología.
- **Salidas gráficas.** Corresponde al producto final de un mapa es decir el resultado del proceso que incluye sus correspondientes convenciones y leyenda explicativa a través de un diseño óptimo que permita la adecuada visualización de elementos por lo general en formato PDF o JPG.
- **Imágenes.** Lugar donde se almacenan todas las imágenes que se utilizan como insumo para la generación de cartografía, así mismo los modelos digitales de elevación y demás productos relacionados con la teledetección que se utilizarán en el proceso.

1.7.4 Fase 3. Consolidación de la información.

La consolidación de la información refleja el resultado final del trabajo, en este proyecto el plano base producto de la aplicación de las fases anteriores, por lo tanto, la composición de todas las capas queda generada de la siguiente manera.

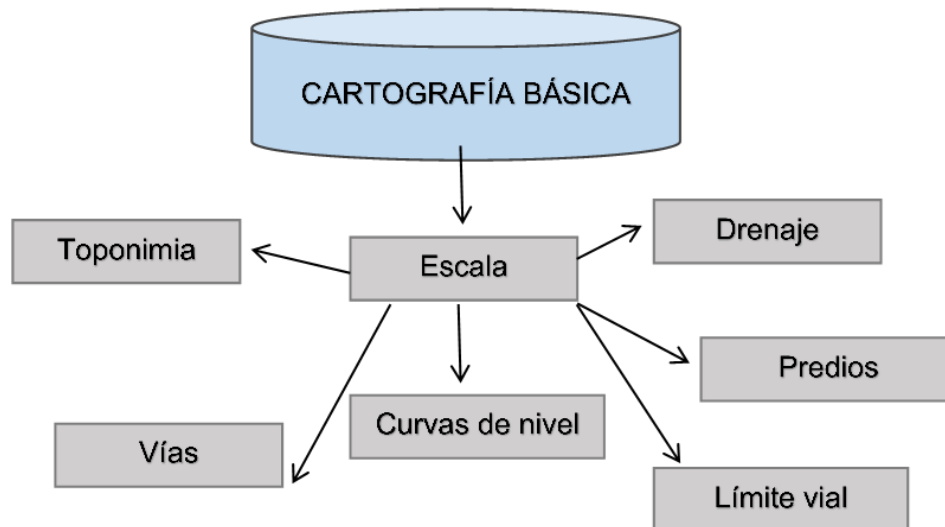


Figura 3. Esquema consolidación de información.

- **Drenaje sencillo:** Flujo de agua superficial que depende de la precipitación pluvial y/o afloramiento de aguas subterráneas y va a desembocar en otra corriente, en una laguna o en el mar. El diagnóstico en el área de influencia se realizó en campo donde se registraron los drenajes existentes permanentes e intermitentes.
- **Curvas de nivel:** Línea imaginaria que une puntos del terreno con la misma altura, respecto al nivel del mar, tipificado de acuerdo con la información utilizada para su captura, obtenidas a partir del levantamiento topográfico.
- **Vías:** Camino delimitado para el tráfico vehicular, animal o de personas, clasificadas de acuerdo a las características estructurales como el ancho de la vía y su estado, de acuerdo a la clasificación del catálogo de objetos del IGAC se establecen 7 tipos de vías.
- **Toponimia:** Nombre propio asignado a una entidad determinada derivado del arraigo cultural e histórico de los habitantes de la zona.
- **Predios:** Línea imaginaria que demarca los límites de la propiedad dentro en un territorio delimitado, obtenida a través del IGAC producto de la última actualización catastral.
- **Límite vial.** Constituye el borde de la vía y se define en las áreas urbanas de mapas a escala grande por borde de andén.

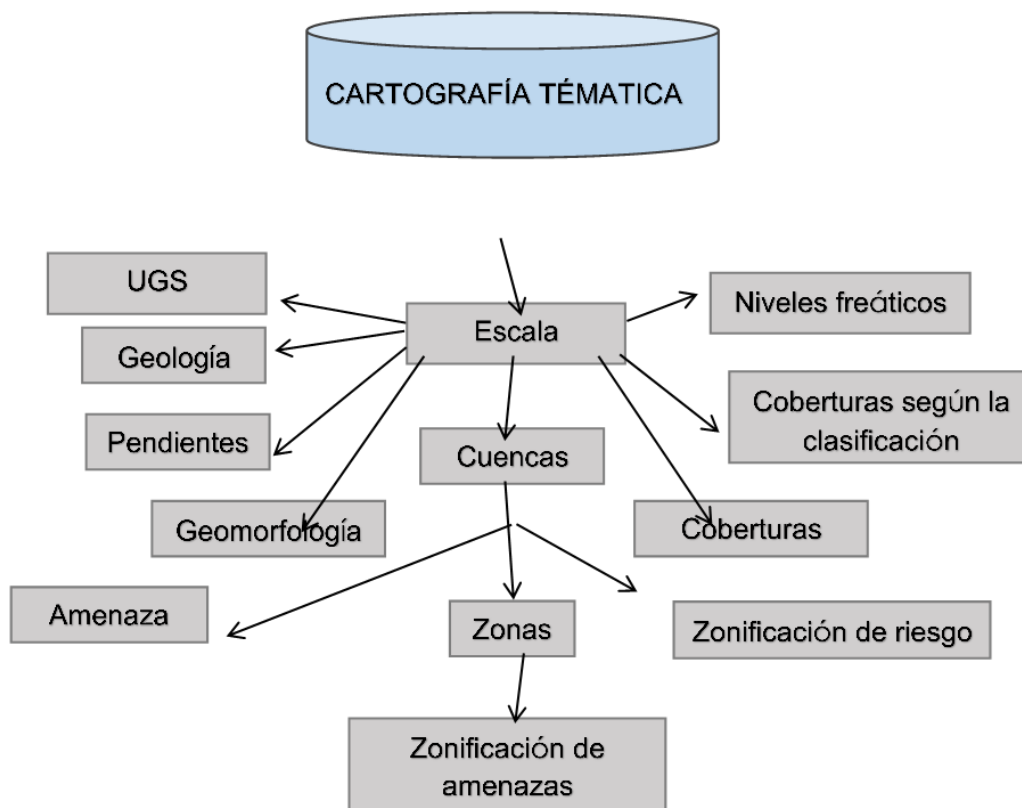


Figura 4. Esquema consolidación de información temática.

La consolidación de la cartografía temática se lleva a cabo en cada uno de los componentes del presente documento donde se describe a detalle la generación de los productos, su influencia y relación con los resultados finales que delimitan las áreas expuestas a las diferentes amenazas evaluadas en este estudio.

1.7.5 Resultados

1.7.5.1 Fase 1. Recolección de información.

En el proceso de búsqueda y recolección de información secundaria con la colaboración de todos los actores involucrados mediante la gestión de datos se obtuvieron los siguientes productos.

Producto	Contenido	Entidad facilitadora
Cartografía plan de ordenamiento territorial 2020—2027 municipio de Pasto.	Geodatabase con todas las capas temáticas urbanas y rurales de diagnóstico y formulación del	ALCALDIA DE PASTO

Producto	Contenido	Entidad facilitadora
	instrumento de planificación territorial. Escala 1:5.000	
Base cartográfica IGAC.	Información geográfica y catastral base que incluye elementos de terreno drenajes, construcciones, vías, en escala 1:25.000 y 1:5.000.	INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTINCODAZZI
Información base, curvas de nivel, Estudio Básicos de Gestión del Riesgo.	Curvas de nivel, intervalos de 50 m.	CONSORCIO UNIDAD 10
Modelo Digital de Terreno	DEM resolución espacial de 1 metro	EMPOPASTO
Ortofotografía	Fotografía área de resolución espacial de 50 cm.	EMPOPASTO

Tabla 14. Productos obtenidos de recolección de información.

1.7.5.2 Fase 2. Procesamiento de la información

- **Georreferenciación de la información** Las capas temáticas se trabajaron bajo el sistema de referencia MAGNA Colombia, bajo los siguientes parámetros:

Sistema de referencia:

- Sistema de referencia horizontal: El marco geocéntrico nacional de referencia es MAGNA SIRGAS, establecido mediante resolución 068 de 2005, la proyección cartográfica será establecida en un único origen de coordenadas, con los siguientes parámetros:

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° N
Origen: Longitud	73° W
Falso: Este	5.000.000
Falso: Norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0,992 metros.

Tabla 15. Parámetros sistema de referencia espacial.

- Sistema de referencia vertical. El sistema de referencia vertical será el que tiene origen en el mareógrafo de Buenaventura.
- **Organización de la información secundaria.** La información secundaria se organizó según su naturaleza y escala en formato shapefile y en una Geodatabase para su posterior procesamiento y continuidad, resultado de los procesos trabajados directamente en campo. Las capas temáticas a tener en cuenta fueron drenajes, vías, toponimia, curvas de nivel y predios.
- **Generación de información cartográfica en el software Arcgis V.10.5.** Para la generación de capas temáticas se realizaron diversos procesos de digitalización

(generación de información en geometrías punto, polilínea, polígono), rectificación (Corrección de trazos), y ajuste (acople de todos los elementos) que permitieron pasar a la fase de consolidación como resultado final.

No.	Elemento	Proceso	Escala
1	Drenajes	Ajuste	1:5000
2	Construcciones	Ajuste	1:5000
3	Curvas de nivel	Modelación y/o ajuste	1:2000
4	Vías	Ajuste	1:2000
5	Limite vial	Ajuste	1:2000
6	Toponimia	Ajuste	1:2000
7	Predios	Ajuste	1:5000
8	Pozo pluvial alcantarillado	Digitalización	1:2000
9	Pozo sanitario alcantarillado	Digitalización	1:2000
10	Tanque acueducto	Digitalización	1:2000
11	Acueducto	Digitalización	1:2000
12	Alcantarillado pluvial	Digitalización	1:2000
13	Alcantarillado sanitario	Digitalización	1:2000
14	Coberturas CORINE	Digitalización y/o ajuste	1:2000
15	Cuencas Hidrográficas	Ajuste	1:2000
16	Niveles freáticos	Modelación y/o ajuste	1:2000
17	Geomorfología	Ajuste	1:2000
18	Pendientes	Modelación y/o ajuste	1:2000
19	UGI	Ajuste	1:2000
20	UGS	Ajuste	1:2000
21	Unidades Geomorfológicas	Ajuste	1:2000
22	Amenaza por inundaciones	Ajuste	1:2000
23	Riesgo por flujos torrenciales		
24	Susceptibilidad	Ajuste	1:2000
25	Vulnerabilidad por movimientos en masa	Ajuste	1:2000
26	Zonificación de amenaza	Ajuste	1:5000
27	Zonificación de riesgo	Ajuste	1:2000

Tabla 16. Descripción de procesos.

1.7.5.3 Fase 3. Consolidación de la información.

- Creación del modelo de datos en formato shapefile y en una Geodatabase.** Se consolidó la información en una carpeta que contiene los resultados cartográficos del proyecto, en ella se encuentra la información en formato SHP y una file Geodatabase en donde se agrupan y conectan todas las capas del proyecto, así mismo se organizó las salidas gráficas en formato PDF y JPG, con su respectiva información la cual corresponde a la elaboración misma del insumo (METADATOS), siguiendo los lineamientos brindados por la Alcaldía municipal de Pasto y la Corporación Autónoma Regional De Nariño CORPONARIÑO.

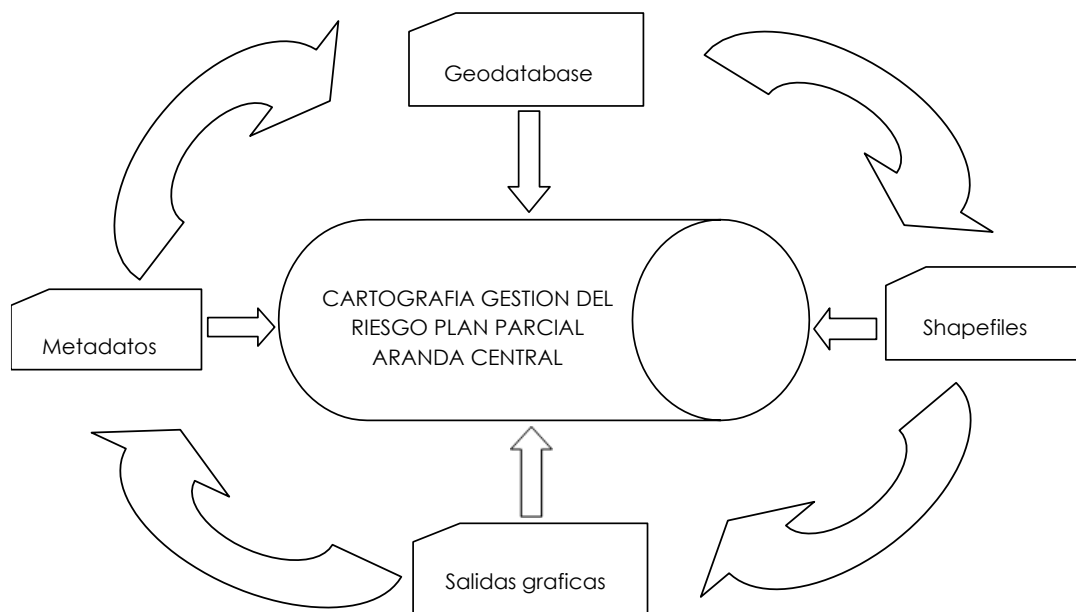


Figura 5. Diagrama de consolidación.

- Adaptación de los resultados obtenidos al catálogo de objetos.** Una vez culminadas las fases preliminares se procede a unificar toda la información y generar un solo producto cartográfico denominado mapa base, siguiendo los lineamientos expuestos en las especificaciones técnicas para la elaboración de cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:2.000, el cual en adelante será el insumo inicial para la generación de productos de los demás componentes. En este sentido se hace la relación sobre los resultados obtenidos de acuerdo a la Tabla 17.

No.	Elemento	Extensión	Contenido	Escala	Extensión	Formato salida gráfica
1	Drenajes	MXD	Delimitación de drenajes.	1:5000	SHP	PDF
2	Construcciones	MXD	Delimitación de áreas construidas.	1:5000	SHP	PDF
3	Curvas de nivel	MXD	Delimitación de líneas de elevación.	1:2000	SHP	PDF
4	Vías	MXD	Delimitación de ejes viales.	1:2000	SHP	PDF
5	Limite vial	MXD	Delimitación de bordes de vía.	1:2000	SHP	PDF
6	Toponimia	MXD	Identificación de sitios de referencia	1:2000	SHP	PDF
7	Predios	MXD	Delimitación de predios.	1:5000	SHP	PDF
8	Pozo alcantarillado pluvial	MXD	Identificación de pozos.	1:2000	SHP	PDF

No.	Elemento	Extensión	Contenido	Escala	Extensión	Formato salida gráfica
9	Pozo sanitario alcantarillado	MXD	Identificación de pozos.	1:2000	SHP	PDF
10	Tanque acueducto	MXD	Identificación de tanque	1:2000	SHP	PDF
11	Acueducto	MXD	Delimitación de línea de acueducto.	1:2000	SHP	PDF
12	Alcantarillado pluvial	MXD	Delimitación de línea de alcantarillado pluvial.	1:2000	SHP	PDF
13	Alcantarillado sanitario	MXD	Delimitación de línea de alcantarillado sanitario	1:2000	SHP	PDF
14	Coberturas CORINE	MXD	Clasificación de coberturas con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia	1:2000	SHP	PDF
15	Cuencas Hidrográficas	MXD	Delimitación de cuencas en el área de estudio.	1:2000	SHP	PDF
16	Niveles freáticos	MXD	Procesamiento puntos para determinación de isolíneas de niveles freáticos	1:2000	SHP	PDF
17	Geomorfología	MXD	Delimitación de geoformas en el área de estudio	1:2000	SHP	PDF
18	Pendientes	MXD	Clasificación de las pendientes de acuerdo al servicio geológico Colombiano	1:2000	SHP	PDF
19	UGI	MXD	Delimitación de unidades geológicas para ingeniería en el área de estudio de acuerdo al S.G.C.	1:2000	SHP	PDF
20	UGS	MXD	Determinación de la amenaza en el área de estudio	1:2000	SHP	PDF
21	Unidades Geomorfológicas	MXD	Delimitación de zonas susceptibles a amenazas	1:2000	SHP	PDF
22	Amenaza por inundaciones	MXD	Determinación de la amenaza en el área de estudio	1:2000	SHP	PDF
23	Riesgo por flujos torrenciales	MXD	Determinación del riesgo en el área de estudio	1:2000	SHP	PDF
24	Susceptibilidad	MXD	Determinación de la susceptibilidad en el área de estudio.	1:2000	SHP	PDF

No.	Elemento	Extensión	Contenido	Escala	Extensión	Formato salida gráfica
25	Vulnerabilidad por movimientos masa	en MXD	Determinación de la vulnerabilidad en el área de estudio.	1:2000	SHP	PDF
26	Zonificación amenaza	de MXD	Zonificación de la amenaza en el área de estudio.	1:2000	SHP	PDF
27	Zonificación riesgo	del MXD	Zonificación del riesgo en el área de estudio.	1:2000	SHP	PDF

Tabla 17. Elementos consolidados.

1.8 CARTOGRAFÍA ESTRUCTURA AMBIENTAL Y PROPUESTA URBANA

1.8.1 Consolidación de la estructura ambiental.

La estructura ambiental se consolidó a través de la recolección de información y delimitación de áreas son claves en la dinámica del sector, contemplando todos los componentes urbanísticos, ambientales, geotécnicos, servicios públicos y en general todos los componentes que garanticen un ambiente apto que permita el desarrollo de nuestra ciudad, generando ambientes sanos y agradables para una sana convivencia y un buen vivir en la ciudad de San Juan de Pasto. De acuerdo a las determinantes ambientales que reglamenta la corporación autónoma regional. Una vez realizado este análisis se estructuraron las siguientes capas:

CAPA	GEOMETRIA	ESCALA
Areas_relictos_bosques_humedos	Polígono	1:25.000
Areas_relictos_bosques_humedos_contexto	Polígono	1:25.000
Coberturas	Polígono	1:25.000
Corredores_ecologicos	Polígono	1:25.000
Corredores_ecologicos_contexto	Polígono	1:25.000
Parque_zonas_verdes_Janacatu	Polígono	1:25.000
Parque_zonas_verdes_Janacatu_contexto	Polígono	1:25.000
Reserva_Janacatu	Polígono	1:25.000
Rondas_hidricas	Polígono	1:25.000
Rondas_hidricas_contexto	Polígono	1:25.000
Sondeos	Puntos	1:2.000

Tabla 18. Capas Cartográficas Generadas de la estructura ambiental.

1.8.2 Consolidación de los sistemas estructurantes y propuesta urbana.

Para realizar la propuesta urbana se consideraron todos aquellos factores resultado del trabajo del equipo técnico en el sector donde se definieron las capas específicas a incorporar dentro de estas se contemplaron los elementos que dinamizan el territorio a través de la siguiente estructura:

CAPA	GEOMETRIA	ESCALA
Propuesta_urbanistica	Línea	1:2.000
Acueducto	Línea	1:2.000
Alcantarillado_pluvial	Línea	1:2.000
Alcantarillado_sanitario	Línea	1:2.000
Pozo_pluvial_alcantarillado	Punto	1:2.000
Pozo_sanitario_alcantarillado	Punto	1:2.000
Tanque_Aranda_acueducto	Punto	1:2.000
Propuesta_urbanistica	Polígono	1:2.000

Tabla 19. Capas Cartográficas de los sistemas estructurantes y propuesta urbana.

Consolidación de la base cartográfica

Para el desarrollo de la base cartográfica del plan parcial policía metropolitana se estructuraron cinco Feature datasets listados alfabéticamente con sus correspondientes Feature class, adicionalmente a ello se incorporaron los insumos utilizados para la generación cartográfica de productos.



















De forma general, el proceso de elaboración de la cartográfica temática se consideró lo siguiente:

- Verificación de la existencia de entidades espaciales dentro de las GDB y correspondencia con los objetos espaciales mínimos propuestos en el modelo de datos, para el contexto.
- Revisión de atributos de las entidades para adaptar el modelo de datos geográfico a la situación propia del estudio.
- Ajuste de geometría de las capas temáticas de acuerdo con el área de estudio.
- Validación topológica de todos los Features Class para verificar la consistencia lógica de los objetos geográficos.















La GDB Se consolido de la siguiente manera:

Name
A_BASE
B_ESTRUCTURA_AMBIENTAL
C_RIESGO
D_SISTEMAS_ESTRUCTURANTES
E_PROPOSTA
MDT
Niveles_freaticos
Orientacion
Ortofoto
Recla_pedrad
Sombras

- **A_BASE.** En este Feature dataset se contemplan todos los insumos iniciales para la generación de cartografía de acuerdo a las diferentes fuentes de información, principalmente la alcaldía de pasto e IGAC.

Name
 Area_estudio
 Area_estudio_modelamiento
 Base_predial_rural
 Centros_poblados
 Centros_poblados_contornos
 Colindantes
 Construcciones_R
 Coordenadas_area_estudio1
 Curvas_de_nivel_empopasto
 Curvas_nivel_de_referencia
 Drenaje_sencillo
 Limite_vial
 Predios_area_estudio_1
 Predios_colindantes
 R_terreno
 Reserva_Janacatu
 Toponimos
 Vias

- **B_ESTRUCTURA AMBIENTAL.** En este Feature dataset se incorporan todas las capas que son determinantes en la estructura ecológica del área de estudio, de acuerdo a los diferentes factores y dinámicas que en él se presentan.

Name
 Areas_relictos_bosques_humedos
 Areas_relictos_bosques_humedos_contexto
 Coberturas
 Corredores_ecologicos
 Corredores_ecologicos_contexto
 Microcuencas_abastecedoras_2
 Parques_zonas_verdes_Janacatu
 Parques_zonas_verdes_Janacatu_contexto
 Reserva_Janacatu_
 Rondas_hidricas
 Rondas_hidricas_contexto
 Sondeos
 Zonas_de_vida_1
 Zonificacion_Hidrografica_1

- **C_RIESGOS.** En este Feature dataset se contemplan todas las capas e insumos de los diferentes procesos tanto de delimitación como de modelación en software para la obtención de los mapas definitivos de amenaza y riesgo.

Name
Amenaza_Volcanica_L_1
Amenaza_Volcanica_P_1
Areas_colapso_SGC_2003_1
Calderas_429_1
Canteras_429_1
Capa_de_arena_429_1
Dato_estructural_para_mapa_1
Datos_Estructurales_1
EMGF_1
Geologia_plancha_429_1
Pendientes_1
Poligono_caida_de_rocas_1
Procesos_Relictos_1
Riesgo_por_flujos_torrenciales
Sistema_de_fallas_1
Susceptibilidad
UGI_1
UGI_SGC_2003_1
UGM_plancha_429_1
UGS_1
Unidades_Geomorfológicas_1
Vulnerabilidad_movimiento_masa
Zonificacion_amenaza_5k
Zonificacion_Riesgo

- **D_SISTEMAS_ESTRUCTURANTES.** En este Feature dataset se contemplaron la funcionalidad del área de estudio y se la clasifico en sistemas.

Name
Acueducto
Alcantarillado_pluvial
Alcantarillado_sanitario
Pozo_pluvial_alcantarillado
Pozo_sanitario_alcantarillado
Tanque_Aranda_acueducto

- **E_PROPUESTA.** En este feature dataset se estructuro la propuesta urbana a desarrollar en el área de estudio.

Name
Propuesta_urbanistica

1.8.3 Parámetros de calidad del dato geográfico

Toda información geográfica y espacial debe cumplir con unos parámetros de calidad antes de ser presentados o incorporados en el SIG Municipal, permitiendo así:

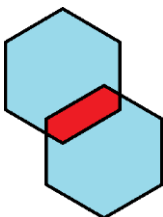
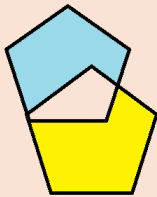
- Dar cubrimiento al área de estudio para la totalidad de temáticas involucradas.

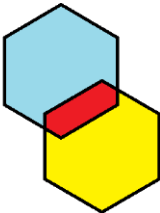

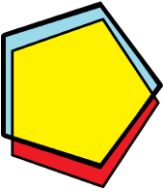
- Asegurar que el nivel de precisión geográfico de los datos se ajusta a los estándares definidos de acuerdo a la escala de trabajo establecida.
- Asegurar que los atributos que contiene la información geográfica describen las características del territorio estudiado conforme a la escala de trabajo definida.
- Garantizar que la información geográfica obtenida permite elaborar salidas gráficas y documentos de mapa de óptima calidad.
- Garantizar que los datos que se emplean como insumo para procesos de análisis geográfico (álgebra de mapas, cortes espaciales, sobre posiciones, buffer, análisis de redes, intersecciones, entre muchos otros) permiten generar nuevos datos de óptima calidad.

Estos parámetros son:

- a. **Tipo de información:** Hace referencia al tipo de archivo en que es entregada la información para establecer si es necesario realizar conversiones entre archivos para obtener entidades compatibles.
 - b. **Cobertura geográfica:** Corresponde a la extensión geográfica que cubre cada una de las entidades la cual debe relacionarse con el área de estudio del proyecto.
 - c. **Complejidad temática y gráfica:** Verificar si la información geográfica entregada tiene cubrimiento total en el área en el área de estudio y si las tablas de atributos se encuentran correctamente diligenciadas
 - d. **Continuidad gráfica y temática:** Mantener constantemente los elementos gráficos y los atributos temáticos en las demás salidas gráficas.
 - e. **Consistencia lógica:** Garantizar que la representación gráfica y la descripción de los elementos en el mapa corresponden con la representación lógica del paisaje en la realidad.
 - f. **Revisión y validación topológica:** Este parámetro implica la identificación de errores topológicos (superposición de puntos, superposición de polígonos, polígonos repetidos, líneas no conectadas en entidades definidas como redes lineales, etc.) resultantes en el proceso de captura y generación de las coberturas geográficas de cada temática. Por lo tanto, para la revisión se recomienda tener en cuenta mínimamente las siguientes reglas topológicas.
 - g. **Escala de captura de la información:** Permite establecer el nivel de detalle de la temática del área de estudio.
 - h. **Exactitud temática (calidad de los atributos):** Identificación y revisión de los atributos que describen a cada entidad y de los dominios que puede tomar cada campo.
 - i. **Exactitud posicional:** Revisión de la exactitud geográfica de los diferentes elementos de acuerdo a su geometría (puntos, líneas o polígonos) conforme a su posición en terreno. El primer nivel de revisión es validar que se encuentren en el área de influencia del proyecto. También se revisa la posición absoluta con respecto a otros elementos.
- Reglas topológicas

La topología nos permite encontrar errores en las capas de puntos, líneas y polígonos, así mismo ayuda a la hora de comprobar las integridades de la información y validación de las representaciones dentro de las *Geodatabases*, especialmente en elementos hidrográficos, red vial, curvas de nivel, etc. A continuación, una pequeña descripción de la regla topológica.

Reglas Topológicas Aplicadas a Polígonos		
Regla Topológica	Descripción	Ejemplo
No debe superponerse	<p>el interior de los polígonos no se Requiere que superponga. Los polígonos pueden compartir ejes o vértices. Esta regla se utiliza cuando un área no puede pertenecer a dos o más polígonos. Resulta útil para modelar límites administrativos, como códigos postales o distritos electorales, y clasificaciones de área mutuamente exclusivas, como cobertura de suelo o tipo de forma de suelo.</p>	
No debe haber huecos	<p>Esta regla precisa que no haya vacíos dentro de un polígono simple o entre polígonos adyacentes. Todos los polígonos deben formar una superficie continua. Siempre existirá un error en el perímetro de la superficie. Puede ignorar este error o marcarlo como una excepción. Utilice esta regla en datos que deben cubrir completamente un área. Por ejemplo, los polígonos de vocación del suelo no pueden incluir espacios ni formar vacíos, deben cubrir un área completa.</p>	

<p>No debe superponerse con</p>	<p>Requiere que el interior de los polígonos en una clase (o subtipo) de entidad no se deba superponer con el interior de los polígonos en otra clase (o subtipo) de entidad. Los polígonos de las dos clases de entidad pueden compartir ejes o vértices o estar completamente inconexos. Esta regla se utiliza cuando un área no puede pertenecer a dos clases de entidad separadas. Resulta útil para combinar dos sistemas mutuamente exclusivos de clasificación de área, tales como zonificación y tipos de cuerpos de agua, en las que las áreas definidas en la clase de zonificación tampoco se pueden definir en la clase de cuerpos de agua y viceversa.</p>	
<p>Debe estar cubierto por la clase de entidad</p>	<p>Requiere que un polígono en una clase (o subtipo) de entidad comparta toda su área con los polígonos en otra clase (o subtipo) de entidad. Un área en la primera clase de entidad que no está cubierta por polígonos desde la otra clase de entidad es un error. Esta regla se utiliza cuando un área de un tipo, como un polígono departamental, debería estar completamente cubierto por áreas de otro tipo, tales como municipios.</p>	
<p>Deben cubrirse entre sí</p>	<p>Requiere que los polígonos en una clase (o subtipo) de entidad compartan toda su área con los polígonos de otra clase (o subtipo) de entidad. Los polígonos pueden compartir ejes o vértices. Cualquier área definida en otra clase de entidad que no esté compartida con otra es un error. Esta regla se utiliza cuando dos sistemas de clasificación se utilizan para la misma área geográfica y cualquier punto dado definido en un sistema también debe estar definido en el otro. Uno de esos casos se produce con datasets jerárquicos anidados, como bloques censales y grupos de bloque o pequeñas cuencas hidrográficas o grandes cuencas hidrográficas. La regla que también se puede aplicar a las clases de entidad poligonales relacionadas no jerárquicas, tales como tipos de suelo y clases de pendiente.</p>	

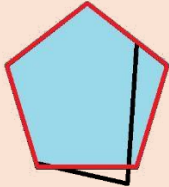

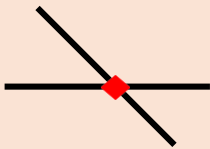
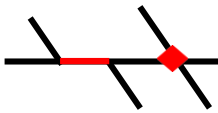
<p>El límite debe estar cubierto Por</p>	<p>Requiere que los límites de entidades poligonales deban estar cubiertos por líneas en otras clases de entidad. Estas reglas se utilizan cuando las entidades de área necesitan tener entidades de línea que marquen los límites de las áreas. Esto es así, generalmente, cuando las áreas tienen un conjunto de atributos y sus límites tienen otros atributos. Por ejemplo, los límites de una entidad territorial podrían almacenarse en la Geodatabase junto con sus límites.</p>	
---	---	---

Tabla 20. Reglas Topológicas aplicadas a Polígono.

Reglas Topológicas Aplicadas a Líneas		
Regla Topológica	Descripción	Ejemplo
<p>No debe superponerse</p>	<p>Requiere que las líneas no se superpongan con las líneas en la misma clase (o subtipo) de entidad. Esta regla se utiliza en aquellos segmentos de línea que no se deberían duplicar, por ejemplo, en una clase de entidad de hidrografía. Las líneas se pueden cruzar o intersectar, pero no pueden compartir segmentos.</p>	
<p>No debe interceptarse</p>	<p>Requiere que las entidades de línea desde la misma clase (o subtipo) de entidad no se crucen ni se superpongan entre sí. Las líneas pueden compartir extremos. Estas reglas se utilizan para líneas de contorno que nunca se deben cruzar entre sí o en los casos en los que la intersección de las líneas se debe producir únicamente en extremos, tales como segmentos e intersecciones de calles.</p>	
<p>No debe intersectarse con</p>	<p>Requiere que las entidades de línea de una clase (o subtipo) de entidad no se crucen ni se superpongan las líneas de otra clase (o subtipo) de entidad con otras. Las líneas pueden compartir extremos. Estas reglas se utilizan cuando existen líneas de dos capas que nunca se deben cruzar entre sí o en los casos en los que la intersección de las líneas se debe producir únicamente en extremos, tales como calles y ferrocarriles.</p>	

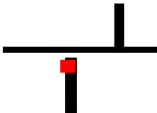
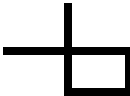

No deben quedar nodos colgados	Requiere que una entidad de línea deba tocar las líneas desde la misma clase (o subtipo) de entidad en ambos extremos. Un extremo que no esté conectado con otra línea se llama nodo colgado (dangle). Esta regla se utiliza cuando las entidades de línea deben formar bucles cerrados, como cuando definen los límites de las entidades poligonales. También se podría utilizar en los casos en los que las líneas se conectan generalmente con otras líneas, como con calles. En este caso, las excepciones se pueden utilizar allí donde la regla se viola ocasionalmente, como con segmentos cul-de-sac o de calle sin salida.	
No debe intersectarse con sí mismo	Requiere que las entidades de línea no se crucen ni se superpongan entre sí. Esta regla es útil para las líneas, tales como líneas de curvas de nivel, que no se puedan cruzar entre sí.	
Debe ser una sola parte	Requiere que las líneas tengan una única parte. Esta regla es útil allí donde las entidades de línea, como carreteras, no deben tener múltiples partes	

Tabla 21. Reglas Topológicas aplicadas a Líneas.

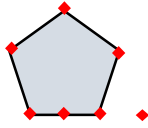

Reglas Topológicas Aplicadas a Puntos		
Regla Topológica	Descripción	Ejemplo
Debe estar cubierto por el límite de	Requiere que los puntos se encuentren en los límites de las entidades de área. Esto resulta útil cuando las entidades de punto facilitan un sistema de límites, tal como los puntos que hacen referencia a los vértices del perímetro urbano, o del área de expansión.	
Debe estar separado	Requiere que los puntos se encuentren separados espacialmente de otros puntos en la misma clase (o subtipo) de entidad. Los puntos que se superpongan son errores. Esto resulta útil para asegurarse de que los puntos no coincidan ni se dupliquen dentro de la misma clase de entidad, tal como en capas de ciudades, puntos de ID de lote de parcela, pozos o postes de luz.	 <p>La superposición de un punto rojo y uno azul es un error.</p>

Tabla 22. Reglas Topológicas aplicadas a Puntos.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO - SIG SECRETARÍA DE PLANEACIÓN MUNICIPAL DE PASTO								
INDICE DE OBJETOS GDB URBANA								
GEODATABAS E	CODIGO MUNICIPIO DANE (5 dígitos)	TIPO DE BASE DE DATOS (2 dígitos)	FEATURE DATASET (2 dígitos)	FEATURE CLASS	CODIGO FEATURE CLASS (2 dígitos)	GEOMETRÍA		
PLAN PARCIAL ARANDA CENTRO	PASTO: 52001	URBANA: 01	01: A_BASE	Area estudio	01	Poligono		
				Area estudio modelamiento	02	Poligono		
				Base predial rural	03	Poligono		
				Centros poblados	04	Poligono		
				Centros poblados contexto	05	Poligono		
				Colindantes	06	Poligono		
				Construcciones	07	Puntos		
				Coordenadas area estudio	08	Línea		
				Drenaje sencillo	09	Línea		
				Limite vital	10	Línea		
				R terreno	11	Poligono		
				Toponimios	12	Puntos		
				Red vital	13	Línea		
				Toponimios	14	Línea		
			02: B_ESTRUCTURA_AMBIENTAL	Areas relictos bosques humedos	01	Poligono		
				Areas relictos bosques humedos contexto	02	Poligono		
				Coberturas	03	Poligono		
				Corredores ecologicos	04	Poligono		
				Corredores ecologicos contexto	05	Poligono		
				Microcuencas abastecedoras	06	Poligono		
				Parques zonas verdes Janacatu	07	Poligono		
				Parques zonas verdes Janacatu contexto	08	Poligono		
				Reserva Janacatu	09	Poligono		
				Rondas hidricas	10	Poligono		
				Rondas hidricas contexto	11	Poligono		
				Sondeos	12	Puntos		
				Zonas de vida	13	Poligono		
				Zonificacion Hidrografica	14	Poligono		
			04: D_SISTEMAS_ESTRUCTURANTES	05: E_PROPUUESTA	01	Amenaza Volcanica L	01	Línea
						Amenaza Volcanica P	02	Poligono
						Areas colapso SGC 2003	03	Poligono
						Calderas 429	04	Línea
						Canteras 429	05	Punto
						Capa de arena 429	06	Línea
Dato estructural para mapa	07	Punto						
Dato Estructura viva	08	Punto						
Acueducto	01	Línea						
Alcantarillado pluvial	02	Poligono						
Alcantarillado sanitario	03	Poligono						
Fozo pluvial alcantarillado	04	Punto						
Fozo sanitario alcantarillado	05	Punto						
Tanque Aranda acueducto	06	Punto						
12	Poligono							
Areas de actividad urbana general	01	Poligono						
Riesgo por movimientos tectonicos	14	Poligono						
Sistema de fallas	15	Línea						
Susceptibilidad	16	Poligono						
UGI	17	Poligono						
UGI SGC 2003	18	Poligono						
UGM plancha 429	19	Poligono						
UGS	20	Poligono						
Unidades Geomorfologicas	21	Poligono						
Vulnerabilidad movimiento masa	22	Poligono						
Zonificacion amenaza 5k	23	Poligono						
Zonificacion Riesgo	24	Poligono						

Tabla 23. Índice de Objetos.

2. ESTRUCTURA AMBIENTAL Y BIOFÍSICA

2.1 COMPONENTE AMBIENTAL DEL PLAN PARCIAL

2.1.1 Marco Geológico Regional

La zona de estudio se encuentra localizada en el Nudo de los Pastos, que corresponde a un macizo montañoso que se extiende desde el norte de Ecuador hasta el Macizo Colombiano, esta región es geológicamente compleja con relación a sus aspectos tectónicos, litológicos y estratigráficos, debido a que su basamento está compuesto por una mezcla de rocas metamórficas precámbricas y rocas cretácicas oceánicas que fueron obducidas al continente (Murcia & Cepeda, 1991).

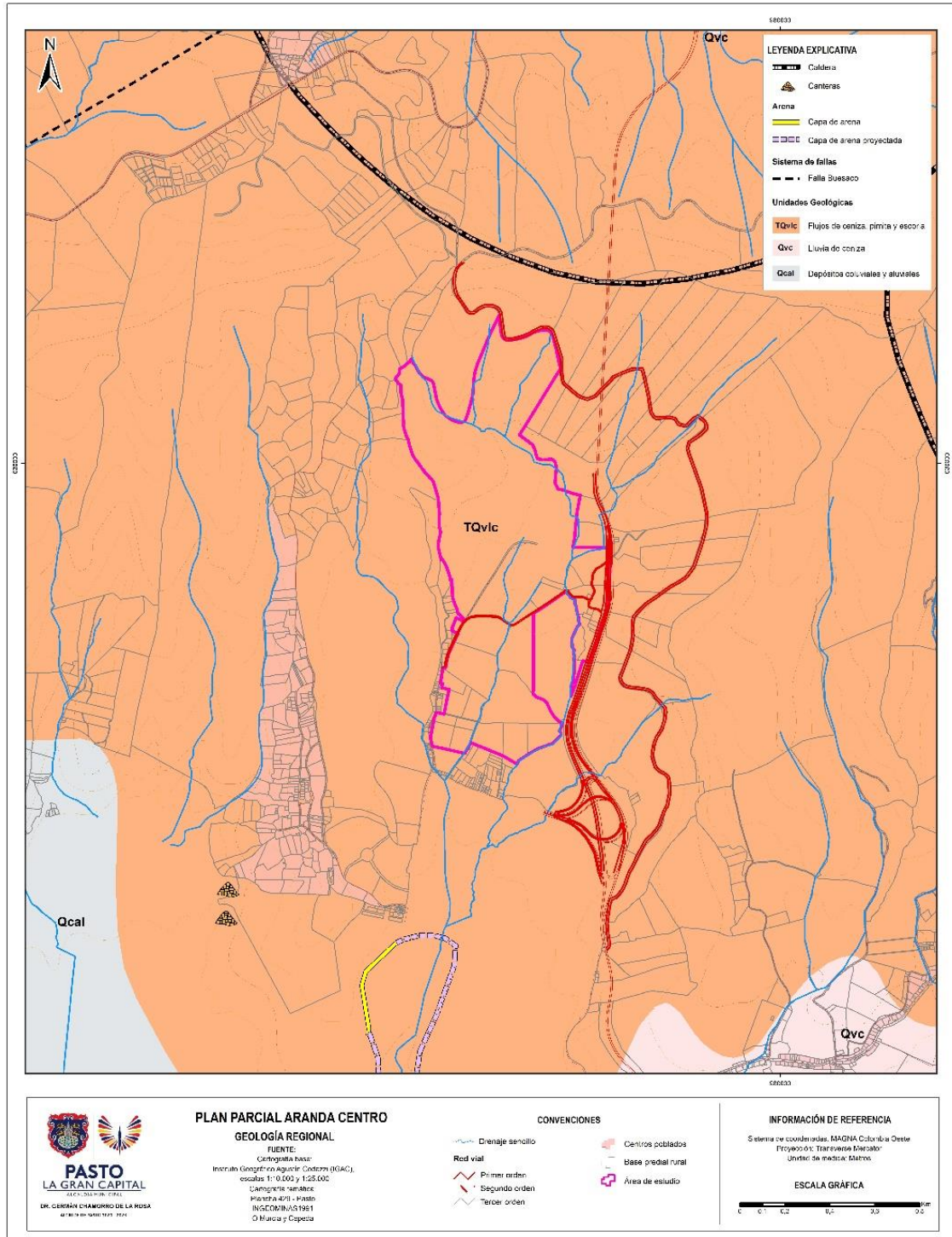
Sobre este basamento se encuentra el magmatismo cenozoico de diferentes pulsos magmáticos que refleja la subducción de la Placa de Nazca sobre la placa Suramericana. Este magmatismo incluye cuerpos plutónicos oligocenos, mio-pliocenos y edificios volcánicos plio-cuaternarios (Duque et al., 2009).

El área de estudio se encuentra localizada sobre este vulcanismo joven, específicamente por la influencia de flujos de lava y depósitos piroclásticos del inactivo volcán Morasurco, como se muestra en el Mapa 9.

Según (Murcia & Cepeda, 1984), la geología del área de estudio, corresponde a flujos de lavas y depósitos de caídas de cenizas (Tqvlc), que se intercalan entre sí y que son difíciles de diferenciar, producto del vulcanismo de edad Terciario – Cuaternario de diferentes centros eruptivos, que para la zona de interés, se relacionan con el Volcán Morasurco.

Los flujos de lavas mantienen formas tabulares, con espesores que no sobrepasan los 15 metros, reposan en los valles de quebradas y ríos, modelando una topografía abrupta, consistentes en valles “V” estrechos, profundos y escalonados. Comúnmente, se presentan como lavas macizas, escoriáceas, en bloque y autoclásticas.

Mineralógicamente estos flujos de lava están compuestos por plagioclasas, piroxenos, anfíboles, olivino y biotita; se clasifican como dacitas, plagidacitas, cuarzo-latiandesitas, cuarzo-andesitas, latiandesitas y andesitas dependiendo del centro eruptivo de origen.



Mapa 9. Geología regional de la zona de estudio
Fuente: Murcia & Cepeda 1991b

(INGEOMINAS, 2003), determinó las unidades geológicas superficiales (UGS) escala 1:50.000 de la ciudad de Pasto (ver Mapa 10), para la zona de estudio, comprende unidades geológicas de Lavas (QL), Flujos de lodo y piroclastos de caída del sector oriental: Aranda-Buesaquillo-Mocondino-Jamondino (Qle), depósitos piroclásticos (Qp), depósitos de movimientos en masa (Qmm), depósitos hidroclásticos de ladera (Qc) y depósitos de cauce actual (Qcac).

2.1.1.1 Lavas (QL)

Corresponden a rocas de carácter efusivo relacionada con la actividad volcánica Cuaternaria sucedida en la región. Su litología corresponde a lavas andesíticas, con variaciones a dacitas y basaltos. Estos flujos afloran de manera parcial, sin embargo, en el sector Las Terrazas de Briceño, se infiere un espesor de 40 metros (INGEOMINAS, 2003).

2.1.1.2 Depósitos piroclásticos (Qp)

Esta unidad aflora hacia el SW de la zona de estudio y se caracteriza por presentar una secuencia de piroclastos de caída, compuesta por ceniza y lapillis de coloraciones suavemente amarillentas a grises claras y presentan un espesor del orden de 35 metros (INGEOMINAS, 2003).

2.1.1.3 Flujos de lodo y piroclastos de caída del sector oriental: Aranda- Buesaquillo – Mocondino – Jamundino (Qfle)

Está conformada por una alternancia superficial de flujos de lodo y cenizas y lapilli de coloración amarillenta. Los flujos de lodo involucran clastos de 1 metro de longitud conformados por rocas redondeadas de dimensiones menores. Presentan con frecuencia estratificación y en ocasiones desarrollo de paleosuelos bien conformados. Esta unidad localmente presenta espesores de 10 m (INGEOMINAS, 2003).

2.1.1.4 Depósitos de movimientos en masa (Qmm)

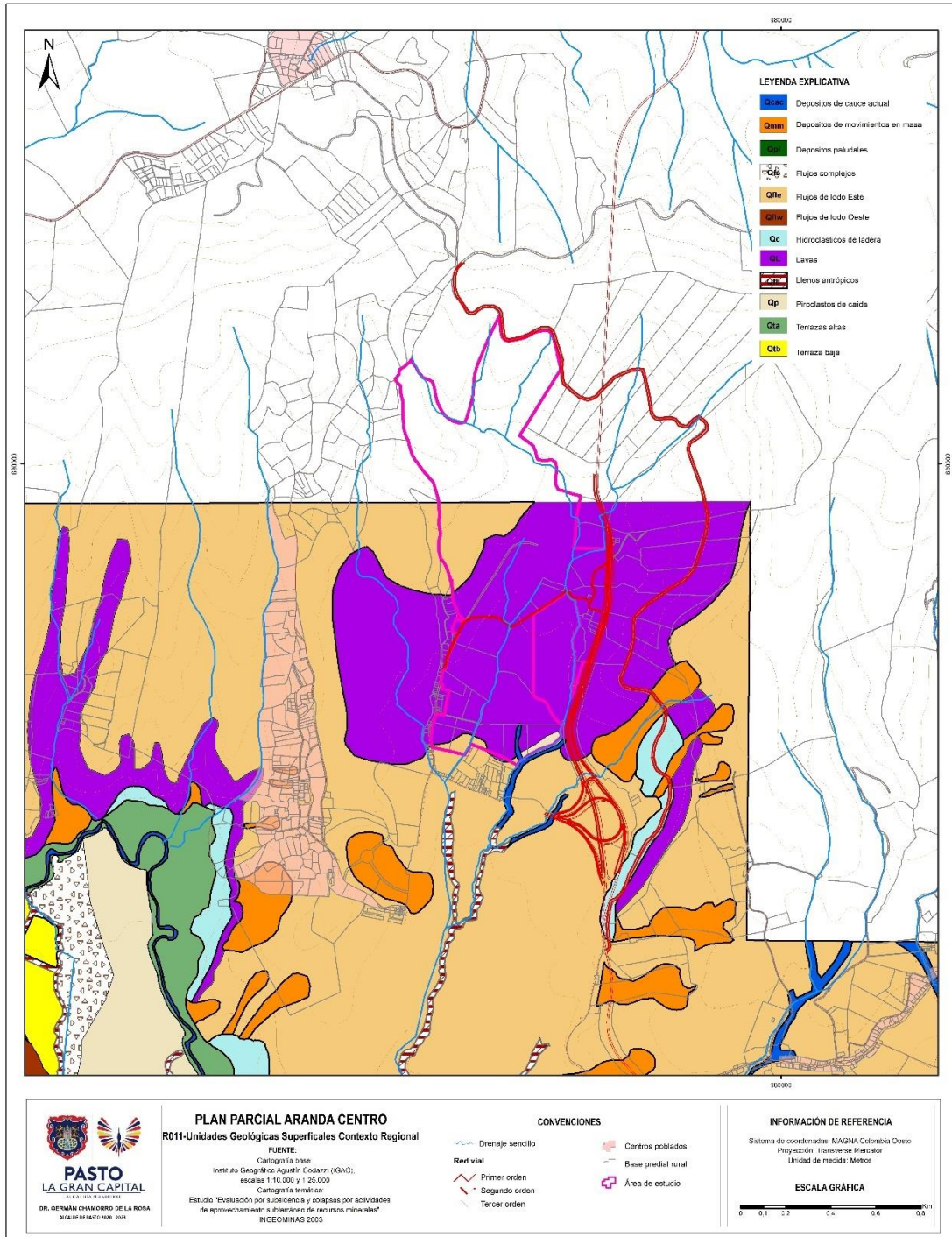
Esta unidad se localiza hacia el SE de la zona de estudio, las características internas de esta unidad no se conocen debido a que los depósitos no dejan afloramientos, sin embargo, pueden corresponder en su mayoría a flujos de lodo alternantes de materiales de piroclastos de caídas (INGEOMINAS, 2003).

2.1.1.5 Depósitos hidroclásticos de ladera (Qc)

Son depósitos constituidos por flujos gravitacionales de material erodado sobre zonas de pendientes medias a fuertes, por lo que se desarrollan sobre taludes de coladas de lavas. Son depósitos muy recientes, por lo que, se disponen discordantes sobre las unidades más antiguas, según controles gravitacionales-topográficos (INGEOMINAS, 2003).

2.1.1.6 Depósitos de cauce actual (Qcac)

Se incluyen en esta unidad los depósitos de cauce actual de ríos y quebradas, depósitos coluviales que se encajonan en valles estrechos y alargados que conforman la morfología actual. Corresponde a zonas marcadamente elongadas como consecuencia del control genético que sobre ellas determina el curso fluvial (INGEOMINAS, 2003).



Mapa 10. Unidades geológicas superficiales (UGS) de la zona de estudio
Fuente: INGEOMINAS 2003

Finalmente, el área del Plan Parcial Aranda Centro hace parte de la unidad Flujo de lavas no diferenciadas del Cerro Morasurco (Flcm), donde Duque et al., 2009, mediante datación de trazas de fisión en circón, obtuvo edades de $1.95 \pm 0,5$ Ma y 1.95 ± 0.28 Ma y utilizando método de K/Ar en roca se determinó edad de 1.6 ± 0.1 Ma.

Los depósitos del Volcán Morasurco presentan una mineralogía compuesta por plagioclasa + piroxeno + minerales opacos \pm anfíbol \pm olivino \pm biotita, se clasifican como fenoandesitas de dos piroxenos y fenoandesitas hornbléndicas (Duque et al., 2009).

2.1.2 Geología Estructural

Estructuralmente esta zona es compleja debido a la dinámica de la Falla Romeral y la influencia de fallas locales como es la Falla de Pasto, como se presenta en la Figura 6.

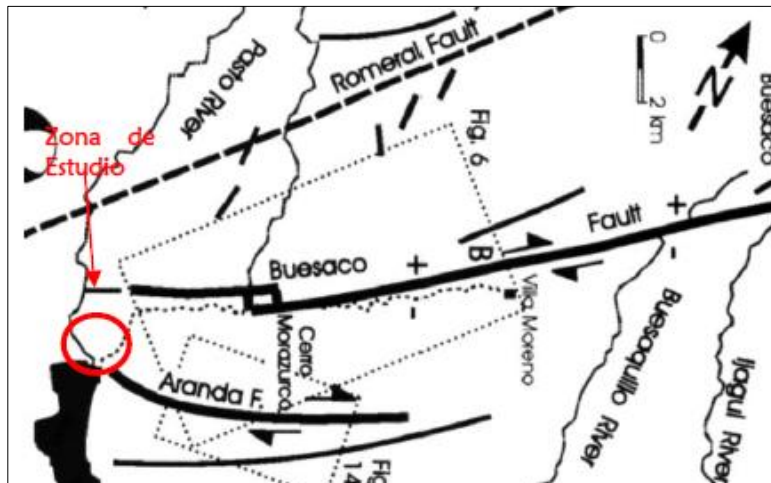


Figura 6. Geología estructural de la zona de estudio
Fuente: Tibaldi & Romero 2000

2.1.2.1 Sistema de Fallas Romeral

Fue descrita por primera vez por Grosse (1926) al SW de Medellín, este sistema de fallas se extiende desde el Golfo de Guayaquil (Ecuador) hasta el norte de Colombia, presenta una longitud de 1700 km.

El sistema de Falla Romeral pone en contacto el antiplano nariñense con la cordillera Centro-Oriental. Su trazo presenta una dirección de N10E a N50E y controla la caldera Daza, al Complejo Volcánico Galeras, volcán inactivo del Cerro Guaca y a las calderas Ama, Chapacual, La Cocha, Honda, Inantas e Imués.

2.1.2.2 Falla de Buesaco

Pertenece al Sistema de Fallas Romeral, que se extiende al suroeste y noreste del Volcán Galeras, con dirección general Noreste, con una longitud aproximada de 29 km desde el Volcán Galeras hasta el norte de la población de Buesaco. Pone en contacto a rocas metamórficas Paleozoicas con rocas metasedimentarias – volcánicas cretáceas.

(Tibaldi & Romero, 2000), señala que las manifestaciones en el relieve, como quiebres muy marcados en la parte baja de las vertientes indican un comportamiento dominante de rumbo, para el cual los mismos autores determinan que la falla es dextral, con desplazamiento horizontal acumulativo de 188 +/- 14 m, y vertical de 120 +/- 5 m, con levantamiento del bloque noroccidental, para un desplazamiento neto de la falla (en ambos ejes) de 199.6 +/- 17.8 m.

2.1.2.3 Falla Aranda

Esta Falla pertenece al sistema de fallas de Romeral, fue definida por (Tibaldi & Romero, 2000), es una estructura de 13 km de longitud, con disposición general SW-NE, con actividad en el Holoceno, que se extiende desde el Noreste de Pasto, sector de Aranda, hasta unos kilómetros antes de Villa Moreno, pasando por el costado sur del Volcán Morasurco.

La expresión morfológica de esta falla es evidente en los quiebres que se presentan en las vertientes, evidenciando que su movimiento tiene predominio horizontal con desplazamiento dextral y un leve componente vertical y plano de falla vertical (Tibaldi & Romero, 2000). Los autores determinaron desplazamiento medio neto de 160 +/- 11 m, y vertical neto de 3.9 +/- 1.9 m, con un levantamiento del bloque Noroccidental de la falla, siendo más notorio en su parte central. Esta falla no tiene sismos asociados y su desplazamiento medio varía entre 0.02 a 0.23 mm/año.

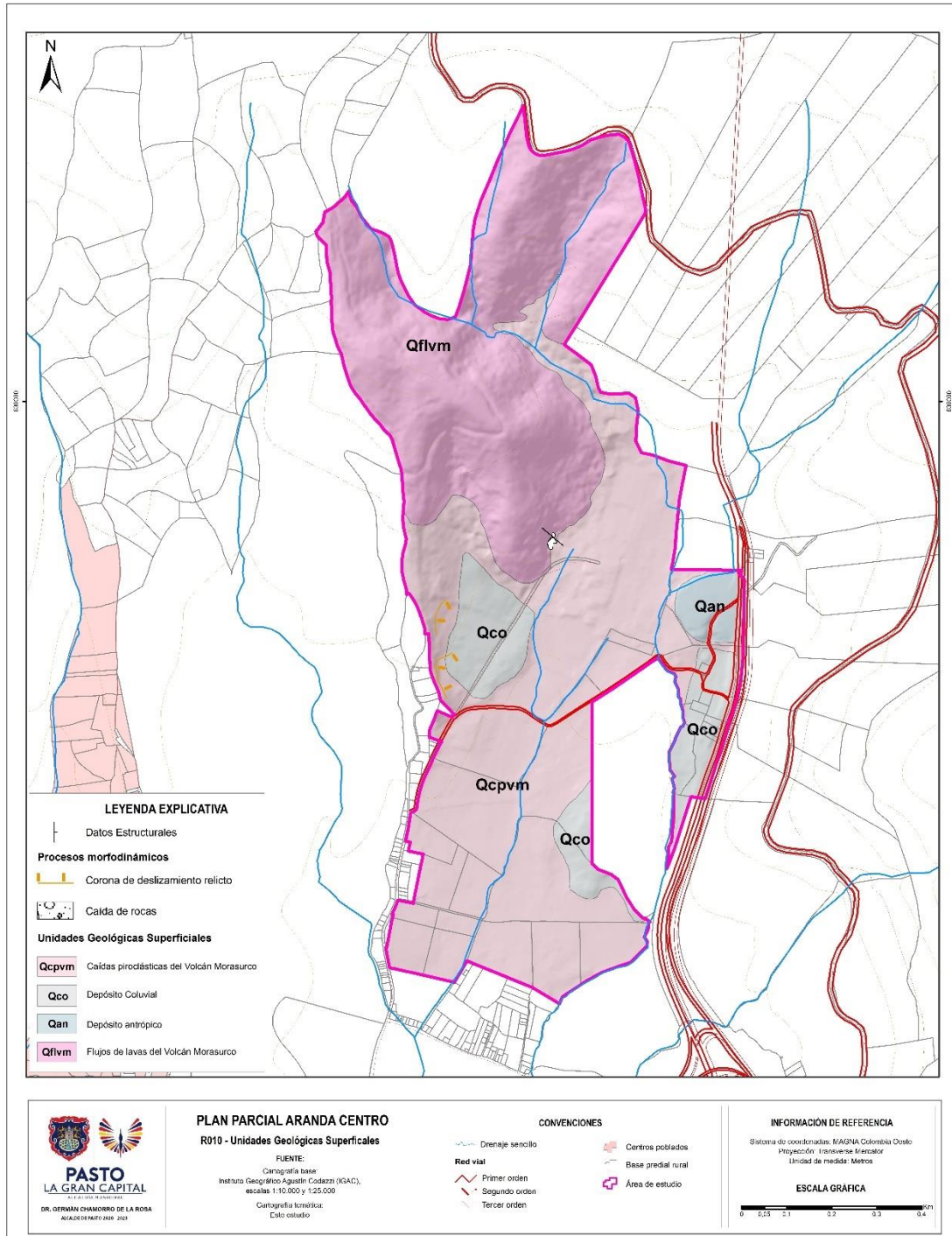
2.1.2.4 Falla Pasto

(Murcia & Cepeda, 1984), trazan esta falla al sur de Pasto, tiene una dirección que varía desde sur a norte entre N25E y N40E, que se extiende desde la caldera San Vicente en el Sur y continuando al norte de San Ignacio, por más de 50 km.

2.1.3 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Los trabajos de exploración permitieron identificar las características litológicas, geomorfológicas y estructurales de la zona de estudio de influencia del Plan Parcial Aranda Central.

Se identificaron cuatro unidades geológicas superficiales como se evidencia en el Mapa 11, según su área de extensión se dividen en la Figura 7, las cuales son Flujos y caídas piroclásticas del Volcán Morasurco, que representa la unidad con mayor extensión de 48,01 ha, le sigue los Flujos de lavas del Volcán Morasurco con 37,94 ha, Depósitos Coluviales con un área de 9,10 ha y finalmente los Depósitos antrópicos, que representan 2,53 ha.



Mapa 11. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales.
Fuente: Este estudio. SPM 2023

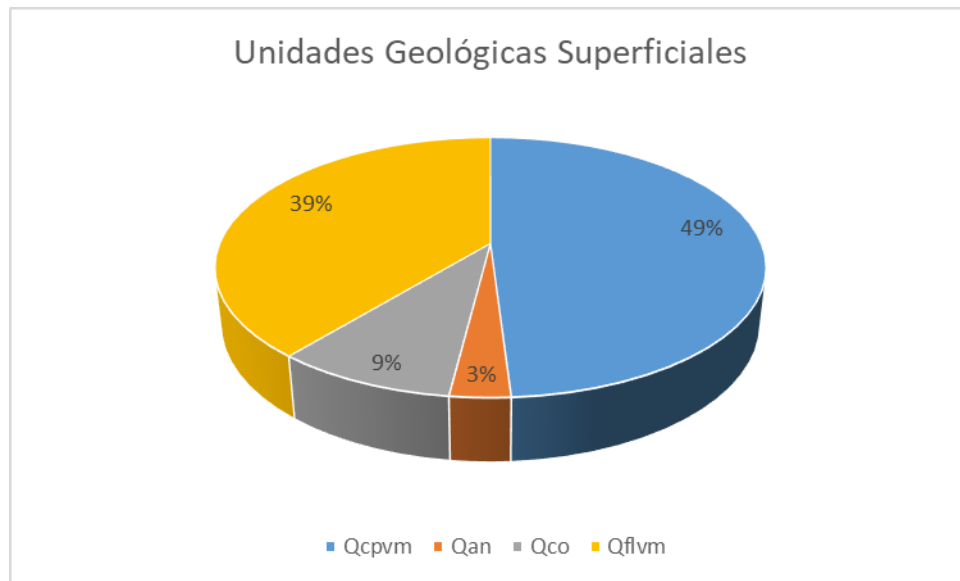


Figura 7. Distribución de UGS.
Fuente: Este estudio. SPM 2023

2.1.3.1 Caídas piroclásticas del Volcán Morasurco (Qcpvm)

Es la unidad con mayor extensión de área, representa 48,01 ha que corresponde 49% de la zona de estudio. Aflora en la zona céntrica y SW del área, pertenece a depósitos provenientes de la actividad cuaternaria del Volcán Morasurco, su origen está asociado a caídas piroclásticas y flujos de ceniza, sin embargo, por la escasez de afloramientos en el área de estudio, se agrupó como una sola unidad.

Los depósitos de caídas de cenizas volcánicas modelaron y suavizaron el paisaje, conformando terrenos colinados de pendientes moderadas. Esta unidad aflora en cortes realizados para diferentes obras como viviendas, vías, entre otros.

Es una secuencia de caídas piroclásticas con buena a moderada selección, que presenta un espesor mínimo de 12 m, de color ocre, matriz-soportado. Está constituida por material tamaños ceniza (limo – arcilla - arenas finas) con formas subredondeadas, esfericidad media, cohesivo, húmedos, ligeramente plásticos, mineralógicamente compuesta por cuarzo, plagioclasa, biotitas y anfíboles. Presenta compacidad media y leve desarrollo de meteorización, ver Figura 8.



Figura 8. Caídas piroclásticas
Fuente: CIDETER 2017

2.1.3.2 Flujo de lava del Volcán Morasurco (Qflvm)

Esta unidad aflora hacia la zona nororiental del área de estudio, con 37,94 ha que corresponde al 39 % del área. Pertenece a la actividad cuaternaria del Volcán Morasurco, su origen está asociado a flujos de lava de composición andesítica.

Corresponden a rocas cristalinas porfíricas de composición andesítica, mineralógicamente está compuesta por plagioclasa, piroxenos, anfíboles y minerales opacos. Presenta fenocristales en su mayoría de plagioclasa y en menor proporción de anfíboles con formas subhedrales a anhedrales de grano medio, su masa fundamental es afanítica melanocrática.

Presenta coloraciones amarillentas y pardas, producto de la oxidación superficial Y meteorización en grado I – II. El macizo rocoso se encuentra fracturado en bloques de aproximadamente 0,3 – 0,5 m, se evidencia una tendencia clara de predominio de estructuras con dirección NW y buzamiento hacia el SW, ver Figura 9.



Figura 9. Flujo de lavas del Volcán Morasurco
Fuente: Este estudio. SPM 2023.

2.1.3.3 Depósitos coluviales (Qco)

Esta unidad aflora hacia el occidente de la zona de estudio, representa 9,10 ha. Corresponden a depósitos formados por la acumulación de materiales movilizados ladera abajo por acción de la gravedad, son el producto de movimientos en masa y procesos erosivos antiguos sobre laderas abruptas a escarpada.

Debido a que los depósitos coluviales se encuentran en morfologías de bajo relieve, presentan poca exposición de afloramientos en la zona de estudio. Sin embargo, se puede reconocer zonas con presencia de bloques de roca andesítica con tamaños de 1 m de diámetro.

El origen de este depósito está asociado a la ocurrencia de deslizamientos de los cuales no fue posible determinar los detonantes ni la época de ocurrencia, siendo estos procesos asociados a deslizamientos relictos, ver Figura 10.



Figura 10. Depósito coluvial
Fuente: Este estudio. SPM 2023

2.1.3.4 Depósitos antrópicos (Qan)

Esta unidad aflora hacia el noreste de la zona de estudio, presenta 2,53 ha, que corresponde a 3% del área de estudio.

Este depósito fue interpretado a través de análisis de imágenes satelitales, ver Figura 11, donde se evidencia una zona de acumulación de materiales generados por excavaciones de vías, posiblemente los materiales constituyentes pueden corresponder a suelos de origen volcánico asociados a depósitos de caídas piroclásticas.



Figura 11. Depósito antrópico año 2016
Fuente: Google Earth 2016

2.1.4 Unidades de geología para ingeniería (UGI)

En este capítulo se describen las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) identificadas en el área de estudio.

Para la descripción y caracterización de las Unidades Geológicas para Ingeniería se utilizó los criterios descritos en la Guía de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, a escala detallada del SGC, 2016. Las UGI corresponden a las áreas delimitadas por el grado de homogeneidad de sus propiedades geomecánicas, cumpliendo con los requisitos de área y espesores mínimos cartografiados.

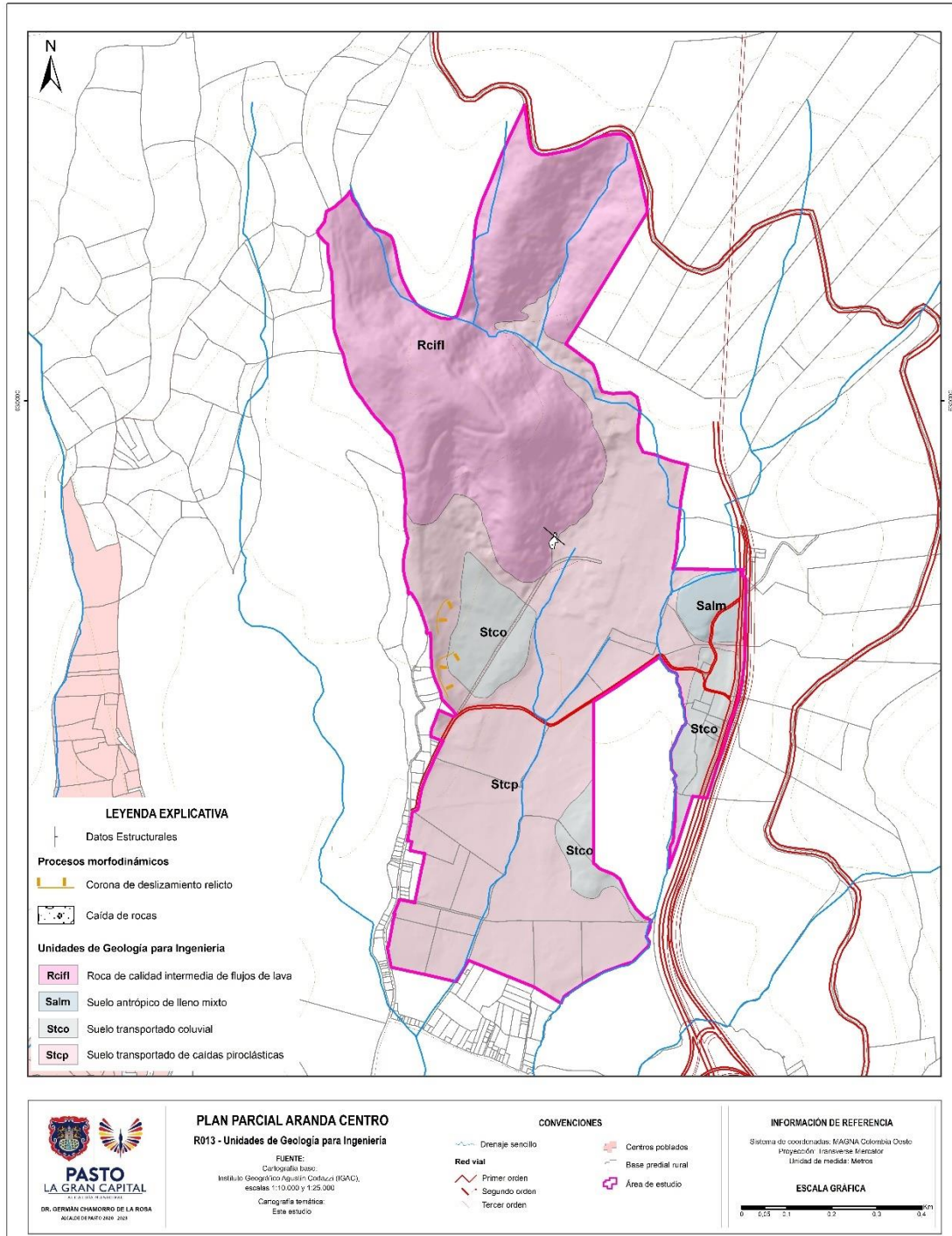
De acuerdo con la escala de trabajo, las UGI se clasifican en rocas o suelo en los siguientes grupos (SGC, 2016).

Rocas

- Suelos residuales y saprolitos
- Suelos transportados
- Suelos antrópicos

Para la descripción de las unidades geológicas para ingeniería se determinaron las propiedades básicas y sus parámetros geo mecánicos. Para los macizos rocosos, se determinaron la litología, composición química, características estructurales, parámetros geo mecánicos y el origen de formación. Los suelos, se clasificaron según su origen, granulometría, geometría de los clastos, relación matriz-clastos, color y grado de meteorización.

En el área de estudio, se identificaron preliminarmente cuatro (4) UGI cuya ubicación espacial se encuentra en el Mapa 12, una unidad de roca y tres unidades de suelos, que incluyen suelos transportados y antrópicos, distribuidos como se presenta en la Figura 12. Las unidades con mayor extensión corresponden a Suelo transportado de caídas piroclásticas (Stcp) que representa un 49%, le sigue la roca de calidad intermedia de flujos de lava (Rcifl) con un 39% y el suelo transportado de coluvial (Stco) que abarca 9% y finalmente suelo antrópico de lleno mixto (Salm) con un 3% del área de estudio.



Mapa 12. Mapa de Unidades de Geología para Ingeniería.
Fuente: Este estudio. SPM 2023

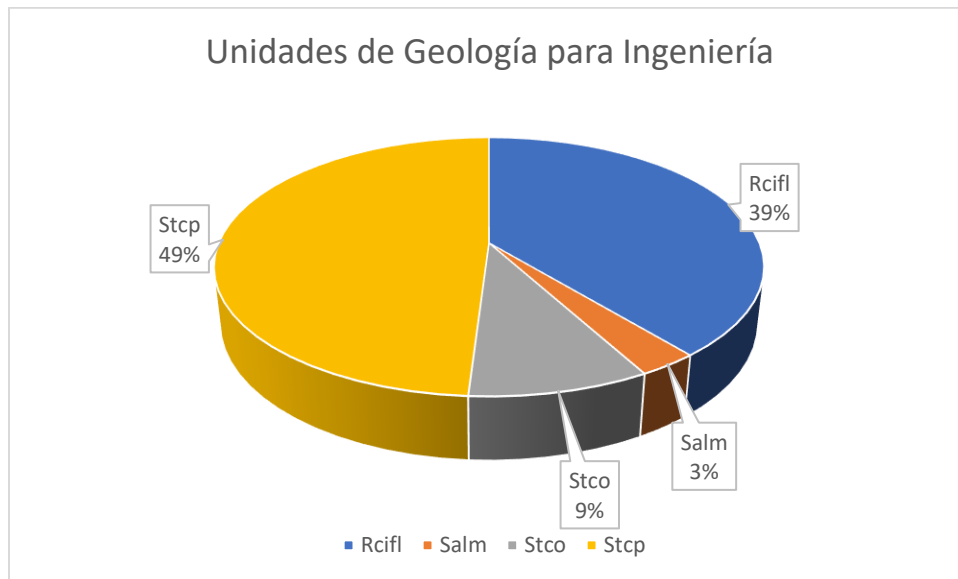


Figura 12. Distribución de Unidades de Geología para Ingeniería en el área de estudio.
Fuente: Este estudio. SPM 2023.

- **Unidades de Roca**

Se caracterizó una sola unidad de roca, que constituye la roca de calidad intermedia de flujos de lavas del Volcán Morasurco que abarca un área de 37,94 ha.

- 2.1.4.1 Roca de calidad intermedia de Flujos de Lavas (Rcifl)

Estratigráficamente esta unidad es la más antigua de la zona de estudio, tiene un área de 37,94 ha y representa el 39% del área de estudio.

Estas rocas se caracterizan por ser rocas cristalinas porfíricas de composición andesítica, con contenido de fenocristales de plagioclasas y anfíboles de grano fino a medio. Presenta meteorización de grado II – III (Dearman,1974) en la parte basal del afloramiento se encuentra moderadamente meteorizada, resistencia GSI de 55-75 clasificado como macizo de calidad intermedia (grado IV-V) y resistencia dura (R4), aproximadamente de 50-100 MPa, para resistencia de comprensión simple.

El macizo rocoso se encuentra fracturado en bloques con tamaños de 0,30 – 0,50 m, las superficies de las discontinuidades son rugosas a suaves, presentan formas planas, sin relleno, sin humedad presente en las discontinuidades, abertura muy estrecha, persistencia de 0,61 a 1,01 metros y espaciamiento de 0,26 a 0,39 m. Debido a las características geomecánicas del macizo rocoso, podrían generar procesos de movimientos en masa de tipo caídas de rocas.

Presenta predominio hacia el NW y buzamiento hacia el SW, se evidencia dos familias de diaclasas, sin embargo, la familia principal presenta datos de Dip/Dip Direction de 30/197, 22/212.

- **Unidades de Suelos**

Las unidades de suelo presentan la mayor extensión en el área de estudio y corresponden principalmente a Suelo transportado de caídas piroclásticas (Stcp) la cual tiene una extensión de 48,01 ha, le sigue el suelo transportado coluvial (Stco) con 9,10 ha y finalmente suelo antrópico de llenos mixtos (Salm) que representa 2,53 ha del área de estudio.

2.1.4.2 Suelo transportado de caídas piroclásticas (Stcp)

Suelos originados por el transporte de cenizas y material expulsado en su mayoría corresponden a flujos y lluvias de cenizas provenientes del Volcán Morasurco, presentan un área de 48,015 ha que corresponden al 49% de la zona de estudio.

Desde el punto de vista geomecánico, la caracterización de los suelos transportados de caídas piroclásticas se puede distribuir en dos unidades por su alta variación en el ángulo de fricción, siendo:

2.1.4.2.1 Depósito de lluvia de cenizas (Stcp-1)

Originado por caídas de cenizas provenientes del Volcán Morasurco. Corresponde a un suelo limoarenoso (MH) de aproximadamente 80-85% finos y 15-20 % de arenas, de color ocre, bien seleccionado y humedad natural entre 44-60 %. Su matriz está constituida por tamaños ceniza conformada por cuarzo, plagioclasa, biotitas y anfíboles con formas subredondeadas, esfericidad media, presenta leve desarrollo de meteorización, moderadamente plástica, con índice de plasticidad entre 12 – 20, consistencia blanda con resistencia al corte de 50 kPa, peso unitario de 15,5 - 19,60 kN/m³, cohesión de 47,7 Kpa y ángulo de fricción de 16,07°.

2.1.4.2.2 Depósito tipo flujo de cenizas (Stcp-2)

Depósitos originados por la actividad Volcánica del Cerro Morasurco, los cuales se mueven en forma de flujos por efecto gravitacional y se desplazan a grandes velocidades por laderas y valles.

Corresponde a un suelo Limoarenoso (ML) a limo con arenas y gravas, de aproximadamente 60 – 80% finos, 20-40 % de arenas y gravas (minoría), mal seleccionado y humedad natural que varía entre 40 – 53 %. Presenta moderada meteorización, levemente plástico con índice de plasticidad entre 7,15 – 10, consistencia moderada a compacta, peso unitario que varía entre 16 – 18 kN/m³, cohesión de 121,1 kPa y ángulo de fricción de 15,68°.

2.1.4.3 Suelo transportado coluvial (Stco)

Corresponden a depósitos de suelos que se desarrollaron a partir de la ocurrencia de movimientos en masa, a los cuales no fue posible determinar los factores detonantes ni la época de ocurrencia, por lo tanto, pertenecen a los movimientos en masa relictos.

Según CIDETER, 2017, son depósito matriz soportado, con una matriz arenosa de color pardo, húmeda, no cohesiva no plástica, sin estructuras, los fragmentos de roca son de tamaño variable desde gravas hasta bloques de 30 cm de diámetro, los fragmentos están frescos, su forma es variable de angulares a subredondeados, composición química variable lavas (andesitas) y pumitas (bloques redondeados). La relación de matriz fragmentos es 80/20. Se estima un espesor para este cuerpo de unos 6 m, de acuerdo con su expresión morfológica, ver Figura 13.



Figura 13. Depósito coluvial
Fuente: CIDETER, 2017.

De acuerdo con los parámetros geomecánicos, este depósito corresponde a un suelo limoso a limo con presencia de gravas (GC), aproximadamente de 80-30 % finos y 20 – 70% de arenas y gravas, de color marrón amarillento, mal seleccionado y humedad natural entre 30 – 45 %. Mediante correlaciones de las LRS, para este depósito se obtienen parámetros de módulo de elasticidad 45 kg/m² y G max de 180,681 Ton/m².

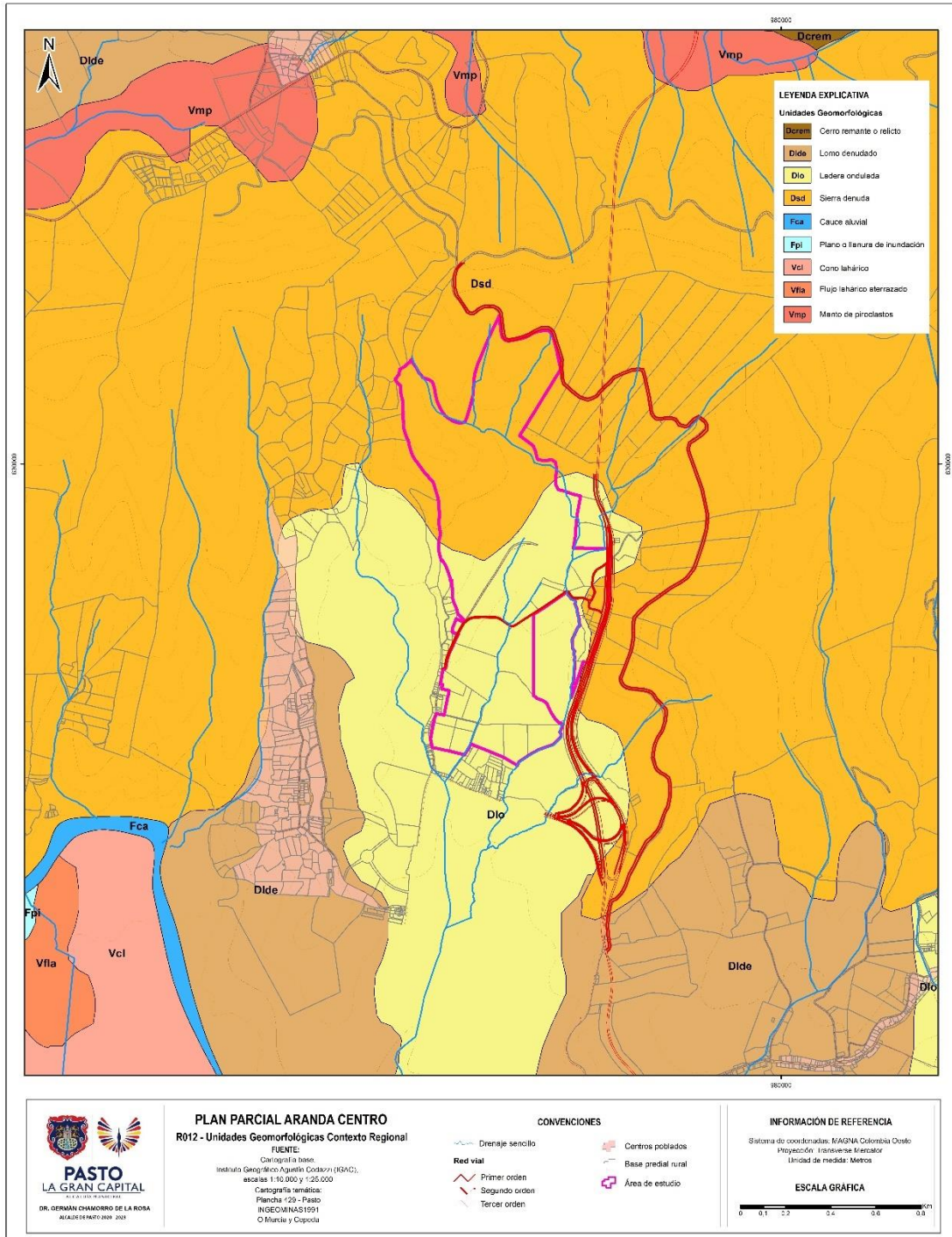
2.1.4.4 Suelo antrópico de llenos mixtos (Salm)

Son el resultado de la acumulación de materiales heterogéneos provenientes de escombros de construcción y materiales estériles para la construcción de infraestructura posiblemente corresponda a suelos de caídas piroclásticas. Presentan morfologías irregulares y pendientes suaves a inclinadas. Desde el punto de vista geomecánico, esta unidad presenta valores de cohesión de 24,4 Kpa y ángulo de fricción de 16,24°.

2.1.5 Unidades Geomorfológicas a Nivel Regional

Las unidades identificadas en el área de estudio y sus alrededores, los nombres y definiciones de estas geoformas fueron tomadas de la propuesta de estudios "Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa de escala 1:100.000" (Servicio Geológico Colombiano y Universidad Nacional de Colombia, 2015).

Dentro de las unidades identificadas en la propuesta, indican que el ambiente denudacional es el que predomina en el área, son unidades originadas por procesos exógenos, degradacionales como la erosión, lluvia-escorrentía y la meteorización que actúan sobre las geoformas preexistentes remodelando el relieve. Aunque en la propuesta escala 1:100.000 se identifican otros ambientes de origen de las geoformas, para efectos de este estudio se describirán aquellas que se encuentran presentes en el área delimitada, ver Mapa 13.



Mapa 13. Unidades geomorfológicas a nivel regional
Fuente: Adaptado de SGC y UNAL 2015

2.1.6 Elementos Geomorfológicos

De acuerdo con el Cuaderno Diagnóstico Ambiental (POT, 2014 - 2027), para el municipio de Pasto le corresponde principalmente una topología que da origen a terrazas fluvio volcánicas, valles en V y escarpes. Para lo cual, se resalta el valle del Río Pasto, que presenta un suelo con contenido de cenizas y lapilli.

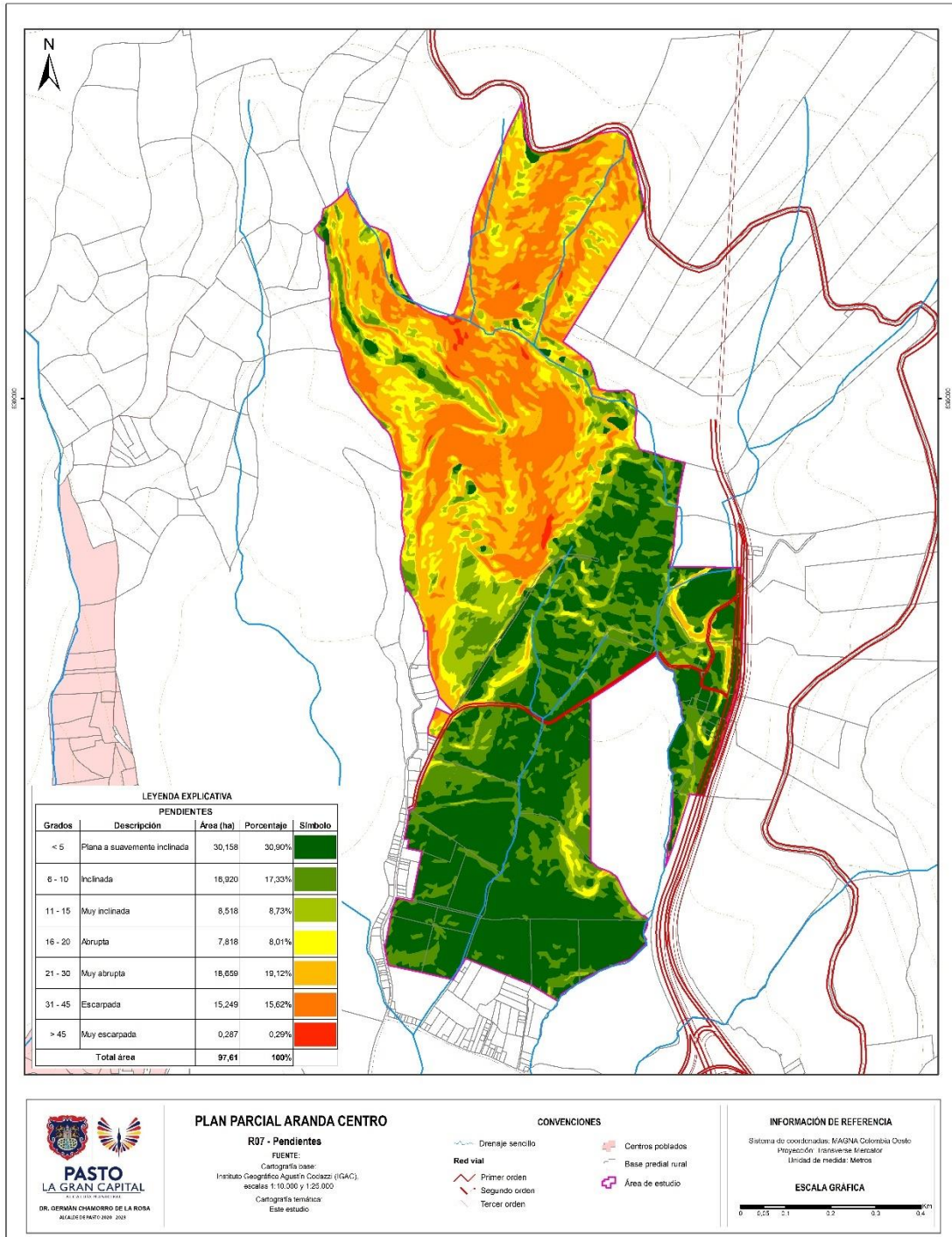
La zona objeto de estudio del Plan Parcial Aranda Centro, comprende geoformas de origen volcánica, antropogénico y denudacional, correspondiente a un valle amplio elevado sobre el Valle de Atriz y que tiene un relieve con tendencia de flujo de norte a sur, opuesta al mencionado valle por eso se considera que esta zona es una subunidad claramente diferenciable dentro del Altiplano Nariñense denominado Valle de Aranda.

La cartografía de elementos geomorfológicos (EGMF) con fines de análisis de amenaza y evaluación de riesgo por movimientos en masa se realizó tomando en cuenta la metodología SGC (2015) y la jerarquización geomorfológica de Carvajal (2012), donde el elemento geomorfológico está definido por los rasgos del de relieve, por la morfometría detallada del terreno y por los microrelieves asociados con una característica litológica con base en análisis detallados. Las clases de pendientes fueron determinadas a partir de los índices de inclinación de ladera propuestos por Carvajal (2012) como se analiza en la Tabla 24, los cuales fueron usados para el presente estudio y determinar el nombre de las geoformas.

Inclinación	Descripción
< 5°	Plana o suavemente inclinada
6 – 10°	Inclinada
11 – 15°	Muy inclinada
16 – 20°	Abrupta
21 – 30°	Muy abrupta
31 – 45°	Escarpada
> 45	Muy escarpada

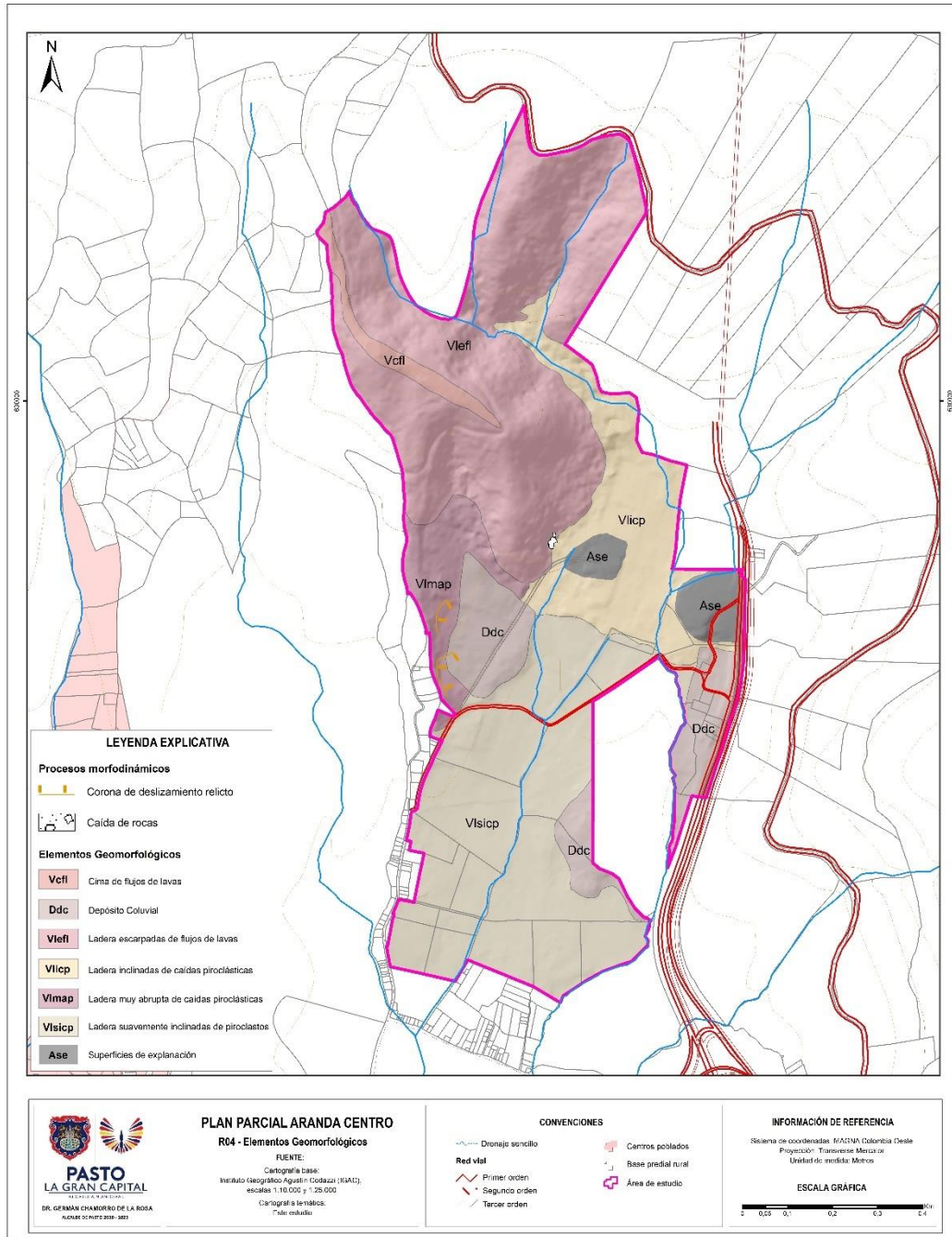
Tabla 24. Índice de inclinación de ladera
Fuente: Carvajal 2012

La pendiente del terreno del área delimitada del Plan Parcial Aranda Central se calculó a partir del Modelo de Elevación Digital de 1 m pixel de Empopasto, en el Mapa 14 que es el Mapa de Pendientes se observa la espacialización de las pendientes presentes en el área de estudio.



Mapa 14. Mapa de pendientes
Fuente: Este estudio. SPM 2023

Como resultado se obtiene el respectivo Mapa de Elementos Geomorfológicos en el cual se detalla cada una de las geformas incluyendo su origen, ver Mapa 15.



Mapa 15. Mapa de elementos geomorfológicos
Fuente: Este estudio, SPM 2023

De acuerdo a la información temática levantada en campo, las principales geoformas del área de estudio del Plan Parcial Aranda Central se asocian principalmente a ambiente volcánico, denudacional y antropogénico, que corresponden a elementos geomorfológicos clasificadas en términos de laderas de acuerdo a las pendiente, presentan rangos desde escarpada a inclinada de origen volcánico, coluviales y superficies de explanación generadas para la adecuación del terreno en la construcción de infraestructura, los elementos de origen volcánico son los que más dominan abarcando el 87% del área total de estudio, ver Figura 14.

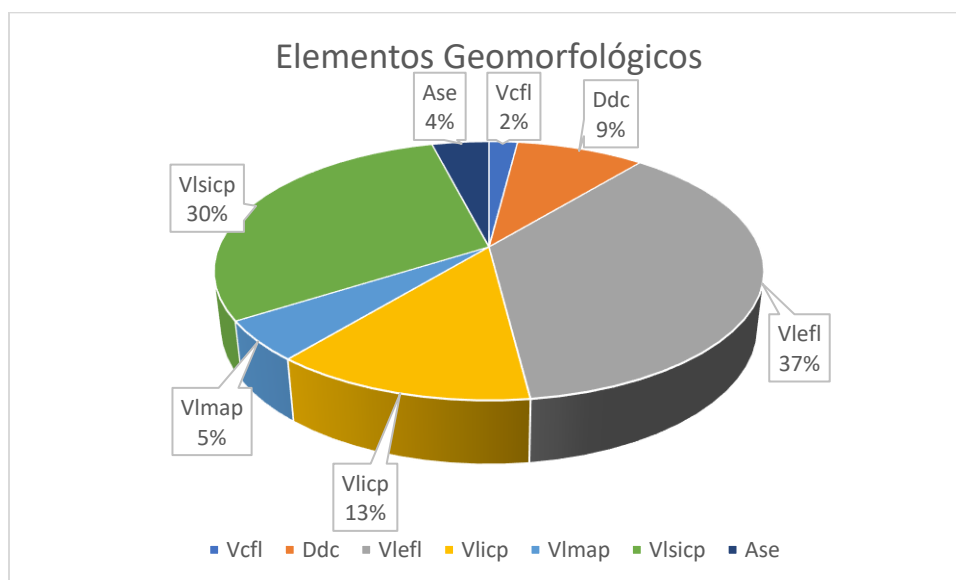


Figura 14. Distribución de los elementos geomorfológicos de la zona de estudio.
Fuente: Este estudio. SPM 2023.

2.1.6.1 Ladera escarpada de flujos de lavas (Vlefl)

Se encuentran localizadas hacia el norte de la zona de estudio, representan 36 ha que constituyen el 37% del área de estudio. Corresponden a las geoformas más altas, se desprenden de la cordillera, con inclinaciones que varían entre 25° y 41°, presentan incisión por corrientes, son laderas irregulares con longitudes cortas a moderadas con distancias variable entre 100 m y 300 m, en su mayoría representan curvaturas convexas y su procedencia está relacionada con material de origen volcánico como flujos de lava asociadas a la actividad cuaternaria del Volcán Morasurco.

2.1.6.2 Ladera muy abrupta de caídas piroclásticas (Vlmap)

Se encuentra localizadas hacia el noroccidente de la zona de estudio y representa 4,91 ha que corresponden a 5% del área total. Estas constituyen los terrenos más altos de la zona de estudio, se desprenden de la cordillera, con inclinaciones que varían entre 21° y 30°, presentan incisión por corrientes, son laderas irregulares con longitudes cortas, continuas y convexas. Su procedencia está relacionada con material de origen volcánico como flujos de lava y depósitos de material piroclástico asociadas a la actividad cuaternaria del Volcán Morasurco.

2.1.6.3 Ladera inclinada de caídas piroclásticas (Vlicp)

Está localizada hacia el nororiente de la zona de estudio y representa 12,81 ha que corresponden a 13% del área total. Comprenden geoformas con pendientes variables entre 6° y 10°, longitud de laderas cortas (menores a 200m) y continuas, varía entre cóncavas y convexas. Su procedencia está asociada a depósitos de caídas piroclásticas del Volcán Morasurco.

2.1.6.4 Ladera suavemente inclinada de piroclásticos (Vlsicp)

Se encuentra localizado hacia el suroccidente de la zona de estudio, representa 29,25 ha que corresponden al 30% del área total del Plan Parcial Aranda Centro. Este elemento se caracteriza por pendientes bajas con una inclinación menor a 5° constituida por depósitos piroclásticos con zonas de planicies ondulares, los drenajes de corrientes naturales en esta área son de baja incisión.

2.1.6.5 Cima de flujos de lava (Vcfl)

Esta localizado hacia el noroccidente de la zona de estudio, representa 1,94 ha que corresponde al 2% del área del Plan Parcial Aranda Centro. Este elemento se caracteriza por comprender la parte superior de las laderas escarpadas de flujos de lavas, presenta una forma alargada y estrecha con un ancho en promedio de 38 m, constituidos por pendientes suavemente inclinada a inclinada <5° hasta 10°, este elemento establece las divisoras de aguas.

2.1.6.6 Superficie de explanación (Asp)

Está localizada en diferentes sectores puntuales al centro y nororiente de la zona de estudio, representa 3,56 ha que corresponden a 4% del área del Plan Parcial Aranda Centro. Son superficies planas de nivelación o terraceo con pendientes planas o suavemente inclinadas, menores a 5° de inclinación, con forma de ladera rectilínea y de índice de relieve muy bajo con el objetivo de adecuar el terreno para la construcción urbanística, se asocia también al terraplén construido al oriente de la zona de estudio para la doble calzada, presentando una geoforma alargada y estrecha que se eleva hasta 6 m del nivel natural del terreno, con un talud con inclinación que varía entre 21° y 30°, generando un cambio en la dinámica de la escorrentía y generando un quiebre en la vertiente natural del terreno (CIDETER, 2017).

2.1.6.7 Coluvial (Dco)

Son geoformas denudacionales que se presenta como masas aisladas hacia el noroccidente y suroriente de la zona de estudio, representan 9,10 ha que corresponden a 9% del área del Plan Parcial Aranda Centro. Corresponden a geoformas irregulares con un índice de relieve bajo, que en el área de estudio reposan sobre laderas inclinadas a muy inclinadas (entre 6° a 15° de inclinación); resultan de la acumulación de material desplazado generalmente por efectos de la gravedad desde las zonas altas, que para el caso del área de estudio involucra suelos transportados de origen volcánico.

2.1.7 Sistema hídrico

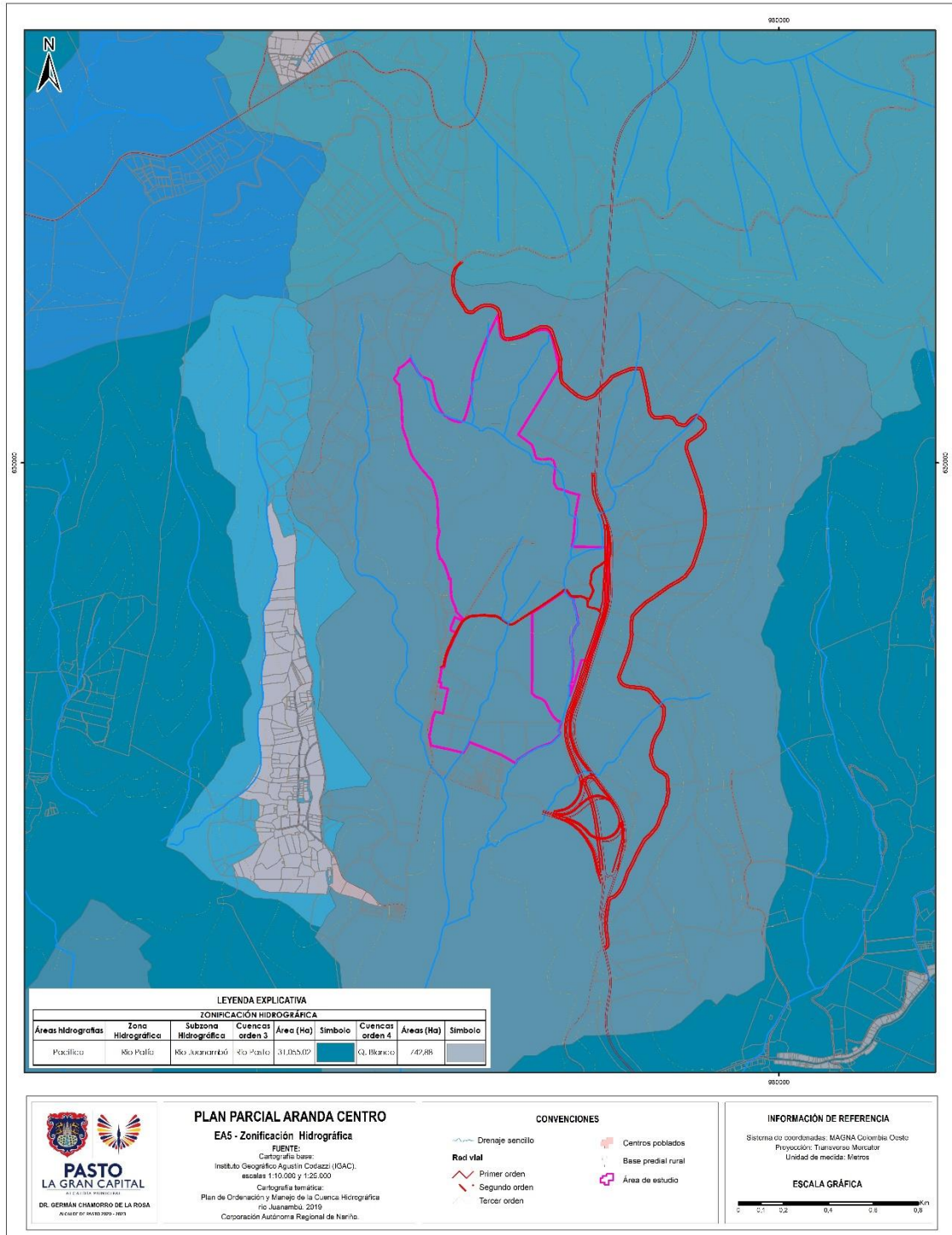
2.1.7.1 Hidrografía

Conforme a la codificación de la cuenca del río Juanambú, subcuencas y microcuencas, realizada en el POMCA de esta cuenca, elaborado por CORPONARIÑO en 2019, la zona del plan parcial Aranda se encuentra localizada en la microcuenca abastecedora de la Quebrada Blanco, que se encuentra en la cuenca del río Pasto, específicamente a la zona media de la cuenca, que hace parte de la subzona hidrográfica del Río Juanambú, que pertenece a la zona hidrográfica del Río Patía y al área hidrográfica del Pacífico. En la siguiente tabla se detalla la zonificación hidrográfica del área de estudio:

Áreas hidrográficas	Zona Hidrográfica	Subzona Hidrográfica	Subcuencas (Cuencas orden 3)	Microcuencas (Cuencas orden 4)
5. Pacífico	52. río Patía	5204 río Juanambú	520405 río Pasto	52040514 Quebrada Blanco

*Tabla 25. Zonificación Hidrográfica del área de estudio
Fuente: POMCA cuenca Río Juanambú (CORPONARIÑO, 2019)*

En el siguiente mapa se puede observar la zonificación hidrográfica del área de estudio:



Mapa 16. Zonificación Hidrográfica
Fuente: SPM (2023)

La cuenca del río Pasto, se localiza al norte del municipio de Pasto, es el principal afluente de la cuenca del río Juanambú, tiene un área de 31,055.02 hectáreas, que representa el 28,30% del área total del municipio. La cuenca se divide en tres sectores alto, medio y bajo.

El área de estudio se encuentra en el sector medio, que abarca la ciudad de Pasto y las subcuencas aferentes, este tramo se localiza entre la bocatoma del Centenario y la estación del IDEAM que se ubica en la Universidad de Nariño (UNIVERSIDAD MARIANA, 2008, citado por CORPONARIÑO, 2011).

La microcuenca del río blanco es de orden 4, que refleja el grado de ramificación de los drenajes de la cuenca, tiene un área de 742,9 hectáreas, la longitud de la red de drenaje es de 13,6 Km, tiene un patrón de drenaje paralelo y un patrón de alineamiento meándrico. El cauce principal tiene una longitud de 4,2 Km y la pendiente es de 5,73%.

Las quebradas que hacen parte de la microcuenca de la Q. Blanco, son la quebrada Bonanza, la quebrada la Merced, la quebrada la Rusia y la quebrada La Magdalena. Las quebradas que influyen en el área de estudio son la quebrada La Magdalena, localizada al occidente del predio del plan parcial; la quebrada la Merced que se encuentra al oriente bordeando el predio de norte a sur, por último, la quebrada la Rusia, que se encuentra en el centro del predio.

2.1.7.2 Oferta y demanda del recurso hídrico.

- Oferta hídrica superficial total

La oferta hídrica superficial total, hace referencia al volumen de agua por cantidad de tiempo que escurre por la superficie y que no se infiltra o se evapora (IDEAM, 2015). Es el agua que es utilizada por los ecosistemas y por la población para desarrollar todas sus actividades. Conforme al POMCA de la cuenca del Río Juanambú, la oferta hídrica debe calcularse para las condiciones hidrológicas normal y seca, para la cuenca del río Pasto la oferta hídrica en el año normal es de 10,20 m³/s y para el año seco es de 4,68 m³/s.

De acuerdo a CORPONARIÑO (2019) a nivel mensual "el año hidrológico medio corresponde a los caudales medios mensuales multianual y el año hidrológico seco corresponde a los caudales mensuales del año típico seco"; a nivel anual "el año hidrológico medio corresponde al caudal medio anual" y "el año hidrológico seco corresponde al caudal mínimo anual simulado, estimado de la serie de caudales medios" (IDEAM, 2010, citado por CORPONARIÑO 2019).

- Demanda ambiental o caudal ambiental

Según el artículo 2.2.3.3.1.3. del Decreto 1076 de 2015, se define el caudal ambiental, como el volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos.

Conforme al POMCA de la cuenca del Río Juanambú, elaborado en el año 2019, por CORPONARIÑO, el caudal ambiental estimado para la cuenca del río Pasto es de 7,2 m³/s para el año normal y de 3,3 m³/s para el año seco.

- Oferta hídrica neta disponible

La oferta hídrica neta disponible, es el volumen de agua promedio que se utiliza para el consumo y desarrollo de las actividades productivas de una población sin afectar el caudal que necesitan los ecosistemas, este volumen de agua resulta de sustraer a la oferta hídrica superficial total el volumen de agua que garantiza el funcionamiento y conservación de los ecosistemas, que se denomina caudal ambiental (IDEAM, 2010 citado por IDEAM, 2018).

Conforme a CORPONARIÑO (2019) la oferta hídrica neta disponible se calcula a partir del volumen de agua superficial de la unidad y periodo de análisis y caudal ambiental demandado en la unidad y periodo de análisis. La oferta hídrica neta disponible de la cuenca del río Pasto es de 3,04 m³/s para el año normal y para el año seco es de 2,63 m³/s.

La oferta hídrica neta disponible para la microcuenca de la Quebrada Blanco es de 0,104 m³/s.

- Demanda total de agua

La demanda hídrica es el volumen de agua que se extrae del cuerpo de agua para que sea destinado para suplir los requerimientos de consumo humano y para el desarrollo de las actividades productivas. Conocer la demanda hídrica, es fundamental para identificar las presiones sobre la oferta hídrica y los impactos sobre la fuente hídrica.

Según CORPONARIÑO (2019), la demanda hídrica para ese estudio se estimó conforme a lo estipulado en la metodología propuesta por el Estudio Nacional del Agua (2014) y considera la clasificación de usos contemplados en el Decreto 1076 de 2015, como son a) Doméstico: urbano y rural; b) Pecuario: bovino, porcino, equino, ovino, caprino y avícola; c) Agrícola: riego; d) Industria: sacrificio bovino, sacrificio porcino, construcción y otras industrias no especificadas; e) Servicios: establecimientos educativos, hospitales, transporte, recreación, lavaderos, estaciones de servicios y otros servicios no especificados; f) Minería: oro y agregados g) Generación de Energía: y h) Hidrocarburos.

La demanda hídrica total de la cuenca del río Pasto es de 2,356 m³/s, distribuida de la siguiente forma: a) demanda de agua para uso doméstico, 0,683 m³/s; b) demanda de agua para uso pecuario, 0,055 m³/s; c) demanda de agua para uso agrícola, 1,225 m³/s; d) demanda uso industrial, 0,308 m³/s, e) demanda de agua para uso de servicios, 0,067 m³/s, f) demanda de agua para uso minero, 0,016 m³/s.

La demanda hídrica para la microcuenca abastecedora de la Quebrada Blanco es de 0,0078 m³/s, la cual se distribuye de la siguiente forma: a) demanda de agua para uso doméstico, 0,0003 m³/s; b) demanda de agua para uso pecuario, 0,00006 m³/s; c) demanda de agua para uso agrícola, 0,0044 m³/s; d) demanda uso industrial, 0,003 m³/s, e) demanda de agua para uso de servicios, 0,00008 m³/s.

En el POMCA de la Cuenca del Río Juanambú, realizado por CORPONARIÑO en 2019, se calcula el Índice de Uso de Agua (IUA), que corresponde a la relación porcentual entre la demanda de agua total, con respecto a la oferta hídrica disponible o aprovechable, en un periodo de tiempo y a una unidad determinada. Para la cuenca del río Pasto, la oferta hídrica disponible es de 8,736 m³/s y la demanda hídrica es de 2,356 m³/s, por lo cual, el IUA es de 26,98% que equivale a una categoría Alta, es decir, que la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta hídrica disponible, por lo cual, es primordial que se diseñen acciones o estrategias para optimizar el uso del recurso hídrico.

Para la microcuenca Quebrada Blanco, la oferta hídrica total es de 0,104 m³/s y la demanda hídrica total es de 0,0078, por lo tanto, el IUA es de 7,52%, que significa que la presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible.

2.1.7.3 Calidad del recurso hídrico

La cuenca del Rio Pasto se divide en parte alta, media y baja. La parte alta comprende desde la divisora sur de la cuenca, hasta el sector donde está la bocatoma del acueducto Centenario que abastece a la ciudad de Pasto, tiene un área aproximada de 6.712 hectáreas, abarca los corregimientos del norte del municipio, como son La Laguna, Buesaquillo, Morasurco, Mapachico, Obonuco Genoy, La Caldera y parte de Catambuco; la parte media abarca principalmente la ciudad de Pasto y subcuencas aferentes, que comprende el tramo ubicado entre la bocatoma Centenario y la estación del IDEAM que se encuentra en la parte delantera de la Universidad de Nariño, tiene un área de 21.524 hectáreas aproximadamente; la zona baja comprende desde la estación del IDEAM hasta la desembocadura al río Juanambú, con un área aproximada de 20.000 hectáreas (CORPONARIÑO, 2011)

El área de estudio se localiza en la parte media de la cuenca del Rio Pasto, en la microcuenca abastecedora de la Quebrada Blanco.

El POMCA de la cuenca del Rio Juanambú (CORPONARIÑO, 2019), realizó el cálculo del Índice de Calidad de Agua – ICA, que corresponde a un número del 0 al 1, que señala el grado de calidad de un cuerpo o corriente de agua. El ICA se estimó para el año lluvioso y para el año seco.

Para la determinación del año lluvioso, se utilizaron dos metodologías, una establecida por el IDEAM en el estudio denominado “Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua” en el año 2013, la cual utiliza 6 parámetros (porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, pH y coliformes fecales) y la segunda, la metodología de la Fundación de Sanidad Nacional de EEUU, la cual utiliza 9 parámetros (coliformes fecales, pH, DBO, nitratos, fosfatos, cambio en la temperatura, turbidez, solidos disueltos totales y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto).

Para efectos de este informe, se presentan los resultados obtenidos por la Metodología del IDEAM. La escala de valoración para el ICA según esta metodología es la siguiente:

Rangos de valor	Calificación calidad del agua	Señal de alerta
0.00 – 0.25	Muy mala	Rojo
0.26 – 0.50	Mala	Naranja
0.51 – 0.70	Regular	Amarillo
0.71 – 0.90	Aceptable	Verde
0.91 – 1.00	Buena	Azul

Tabla 26. Calificación ICA

Fuente: (IDEAM, 2011 citado por CORPONARIÑO, 2019)

En la cuenca del Rio Pasto se localizaron 9 sitios de muestreo y se midieron 6 parámetros físico químicos y microbiológicos, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en cada punto de monitoreo:

ID	Sitio	Punto de monitoreo	ICA	Clasificación
1	Aguas arriba	Punto de monitoreo Qda. El Barbero	0,85	Aceptable
2	Bocatoma Centenario, zona alta-media	Punto de monitoreo Rio Pasto - Bocatoma Centenario	0,70	Regular
3	Confluencia Rio Pasto	Punto de monitoreo Q. Miraflores - Confluencia R. Pasto	0,37	Mala
4	Bocatoma pasto	Punto de monitoreo Rio. Mijitayo - Bocatoma Pasto	0,63	Regular
5	Universidad - Zona media-baja	Rio Pasto - Estación IDEAM- Universidad de Nariño	0,34	Mala
6	Bocatoma Acueducto	Q. Maragato – Bocatoma Acueducto	0,71	Aceptable
7	Pasto-Chachagüí	R. Bermúdez - bocatoma Chachagüí	0,63	Regular
8	Baja	R. Bermúdez - Parte baja	0,67	Regular
9	Providencia - Zona baja	Rio Pasto - Estación Ideam Providencia	0,28	Mala

Tabla 27. ICA año lluvioso Juanambú – Metodología IDEAM
Fuente: (CORPONARIÑO, 2019)

De estos 9 puntos de muestreos, 7 puntos se encuentran dentro de la parte media de la cuenca del rio Pasto (del 1 al 8), 1 punto está en la parte alta y el otro en la parte baja, de estos sitios de muestreo, 5 puntos (del 1 al 5) se encuentran dentro del municipio de Pasto, de los cuales 4 (del 2 al 5) puntos están muy cerca del Plan parcial Aranda.

De acuerdo a lo anterior, se analizaron los resultados de los puntos que se encuentran en el municipio de Pasto, según los resultados del ICA de la anterior tabla, se identifica que hay dos puntos de monitoreo que se encuentran en la zona media de la cuenca, con una valoración de 0,37 y 0,34 que equivale a una calificación de mala calidad del agua, estos corresponden a los puntos de monitoreo Q. Miraflores - Confluencia R. Pasto y Punto de monitoreo Rio Pasto - Estación IDEAM- Universidad de Nariño, estos tramos presentan un alto grado de contaminación del agua, ya que a estas zonas llegan casi el 90% de las cargas contaminantes procedentes de los vertimientos de aguas residuales domésticas de la zona urbana del municipio y vertimientos de tipo pecuaria y agrícola, que no tienen un tratamiento previo, así mismo, se descargan aguas residuales provenientes de curtiembres que se localizan al finalizar la zona urbana del municipio, que a pesar de tener algún tratamiento previo, son insuficientes para disminuir la carga contaminante.

Así mismo, se identificaron dos puntos de muestreo, con un ICA de 0,70 y 0,63, lo cual significa que tienen una calidad de agua regular, en estos puntos se encuentran las bocatomas Centenario y Pasto respectivamente. Lo anterior, refleja que las condiciones fisicoquímicas del agua, no se encuentran dentro de los parámetros permisibles y adecuados, es decir, que el agua está contaminada, por tal motivo, es fundamental, que en estas zonas se realicen acciones para recuperar la calidad del agua, sobre todo, a que en estos puntos se localizan las bocatomas, que corresponden a las estructuras hidráulicas que captan parte del agua disponible del río para el abastecimiento de la zona urbana del municipio de Pasto.

En la quebrada Barbero, que se localiza aguas arriba, el valor fue de 0,85 que significa que tiene una calidad de agua aceptable, esto se debe, a que la parte alta de la cuenca del Río Pasto, no se encuentra tan intervenida y aún existen varias zonas de importancia ambiental que están protegidas, por ello, no se presentan altas descargas de contaminantes.

Con el fin de evaluar la calidad del agua para consumo humano y conocer el nivel de riesgo al que se encuentra expuesta una población determinada, se cuantifica el Índice de Riesgo de Calidad del Agua -IRCA. En Colombia, los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua para consumo humano, son reportados por las Direcciones territoriales de Salud (DTS), por medio, del Sistema de información para la Vigilancia de la Calidad de agua potable (SIVICAP), que esta administrado por el Instituto Nacional de Salud. Lo anterior dando cumplimiento al Decreto 1575 de 2015 y a la resolución 2115 de 2007.

El Instituto Nacional de Salud, como entidad administradora del SIVICAP, realiza periódicamente un boletín, con las muestras reportadas por los DTS en el SIVICAP, para el periodo del mes de diciembre de 2019, se reportaron 3869 muestras a nivel nacional y se estimó el IRCA. El cálculo del IRCA se realiza con base en lo establecido en la resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

De acuerdo al boletín de vigilancia de la calidad de agua para el consumo humano del mes de diciembre de 2019, realizado por el Instituto Nacional de Salud, el municipio de Pasto, tiene un IRCA de 34,70 que significa que existe un nivel de riesgo medio para el consumo de agua y teniendo en cuenta la resolución 2115 de 2007, es agua no apta para el consumo humano, por lo tanto, se requiere una gestión directa de la empresa prestadora del servicio y autoridades sanitarias, con el fin de implementar mejores tratamientos del agua utilizada para consumo y acciones de control y vigilancia sobre las fuentes generadoras de vertimientos.

2.1.7.4 Hidrogeología

Con respecto a la hidrogeología del área de estudio, se revisó el componente hidrogeológico realizado en el POMCA de la cuenca del Río Juanambú (CORPONARIÑO, 2019). Este componente conformo un modelo conceptual y realizo el análisis de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos

- **Modelo conceptual hidrogeológico**

El modelo hidrogeológico conceptual, integra la información geológica, geomorfológica, geofísica, hidrológica, hidroquímica e hidráulica de aguas subterráneas, lo anterior, permite la identificación y caracterización de las unidades geológicas que conforman sistemas acuíferos, las condiciones de recarga y descarga de los acuíferos y las condiciones de vulnerabilidad de los acuíferos.

Este modelo se representa gráficamente mediante los mapas hidrogeológicos, estos mapas se desarrollan de acuerdo a la leyenda acogida por el Servicio Geológico Colombiano – SGC, la cual se basa en la leyenda hidrogeológica internacional, que fue publicada por F. Struckmeier And Jean Margat., 1995. Según el mapa elaborado para la cuenca del río Juanambú, el área de estudio tiene dos unidades hidrogeológicas:

- Acuitardo (Qvc)

Corresponde a una formación geológica que contiene enormes cantidades de agua, pero las transmite muy lentamente, en consecuencia, no son aptos para captaciones de aguas subterráneas, sin embargo, permite recargas verticales de otros acuíferos.

La formación geológica o el depósito que lo representa corresponde a lluvia de cenizas (Qvc), que tiene buena porosidad y permeabilidad, esta formación refleja la actividad explosiva de diferentes volcanes que lanzan este material a grandes distancias (CORPONARIÑO, 2019). En el predio del Plan parcial Aranda esta unidad tiene un área de 52, 2 hectáreas.

- Acuíferos con Porosidad Primaria/ Sedimentos y rocas con flujo Intergranular (TQvlc)

Principalmente, estas unidades se ven representadas por los depósitos cuaternarios de origen volcánico, aluvial o glacial, que permiten la circulación de agua y su almacenamiento, facilitando la conformación de acuíferos locales a regionales.

La formación o depósito corresponde a Lavas y Cenizas (TQvlc), que son productos lávicos y piroclásticos que se relacionan con la actividad de los volcanes Galeras, Morasurco y Bordoncillo. Esta unidad tiene un área de 45, 4 hectáreas.

- **Zonas de recarga**

Un acuífero siempre tiene su zona de recarga o de alimentación, por la cual, se incorpora agua procedente del exterior al acuífero, esa procedencia, puede ser por infiltración de la lluvia o de las aguas superficiales. Las zonas de infiltración y recarga se producen en los lugares donde afloran los acuíferos, en otras palabras, las zonas de recarga coinciden con los acuíferos identificados en el mapa hidrogeológico de la cuenca del Río Juanambú. La zona de recarga del área de estudio coincide con la unidad denominada acuífero de porosidad primaria, que tiene un área de 45, 4 hectáreas.

- **Análisis de vulnerabilidad intrínseca**

De igual forma, se revisó el análisis de vulnerabilidad intrínseca para cada uno de los acuíferos de porosidad primaria y secundaria, realizado en el POMCA de la cuenca del Río Juanambú. La vulnerabilidad intrínseca de un acuífero se define como la sensibilidad de un acuífero a ser afectado por una carga contaminante, este análisis se realizó por el método

GOD (Grado de confinamiento hidráulico del acuífero, ocurrencia del sustrato suprayacente y distancia al nivel agua del agua subterránea).

Este análisis proporciona una valoración cualitativa a la susceptibilidad del acuífero a ser infiltrado por aguas con una alta carga contaminante, como son abonos lixiviados de actividades productivas, plaguicidas y aguas residuales domésticas.

El acuífero de porosidad primaria del área de estudio presentó una vulnerabilidad moderada, es decir, que es un acuífero vulnerable a contaminantes relativamente móviles y/o persistentes, o a eventos de contaminación continuos, causados durante largos periodos de tiempo.

Dentro de los POMCAS, se caracterizan las áreas de importancia ambiental, que estarán dentro de la categoría de ordenación de conservación y protección de la zonificación ambiental, en esta se estableció que dentro de esta categoría se deben incluir los acuíferos o formaciones que presentan un alta o moderada vulnerabilidad, que coinciden con las zonas de recarga.

A pesar de que el acuífero de la zona de estudio presentó una vulnerabilidad moderada, para la cuenca del Rio Juanambú, en el diagnóstico realizado en el POMCA se estableció que la zona de recarga con vulnerabilidad alta, con formación de depósitos aluviales – Qal, que se ubica en la unidad hidrogeológica de acuífero con porosidad primaria, se considere como un ecosistema estratégico que hará parte de las áreas de importancia ambiental de la cuenca. Por consiguiente, se evidencia que el acuífero de la zona de estudio no se encuentra dentro de la categoría de protección áreas de importancia ambiental que hace parte de la categoría de ordenación de conservación y protección ambiental de la zonificación ambiental del POMCA, por lo cual, no se presenta como una restricción ambiental para el desarrollo del PP Aranda Centro.

A pesar de lo anterior, es importante resaltar que gran parte del acuífero y zona de recarga de la zona de estudio coincide con elementos de la Estructura Ecológica Municipal - EEM del POT vigente como son el parque Reserva Janacatú y el corredor ecológico Morasurco – Cabrera que corresponden a categorías de protección ambiental dentro del municipio, más adelante se explicará con detalle la EEM.

- **Análisis de los niveles freáticos**

Los aspectos hidrogeológicos se centran en la obtención de los niveles freáticos como detonantes de movimientos en masa (SGC, 2015). En el informe de exploración geotécnica realizada por CIDETER en 2017, para el Plan Parcial Aranda, se realizaron 10 sondeos y se registró presencia de agua en 5 puntos a profundidades diferentes, es importante mencionar, que durante las perforaciones se presentaron lluvias torrenciales que pudieron afectar el nivel freático del área de estudio. A continuación, se detallan los puntos o sondeos y la profundidad del nivel freático encontrado:

Punto	Profundidad (m)
SM1	S. N. F
SM2	S. N. F
SM3	0,5
SM4	6,0

Punto	Profundidad (m)
SM5	6,0
SM6	7,0
SM7	5,0
S1	S. N. F
S2	S. N. F
S3	S. N. F

Nota: S. N. F (sin nivel freático)
Tabla 28. Profundidad nivel freático
Fuente: (CIDETER, 2017)

En la siguiente imagen se muestran los puntos de exploración realizados:

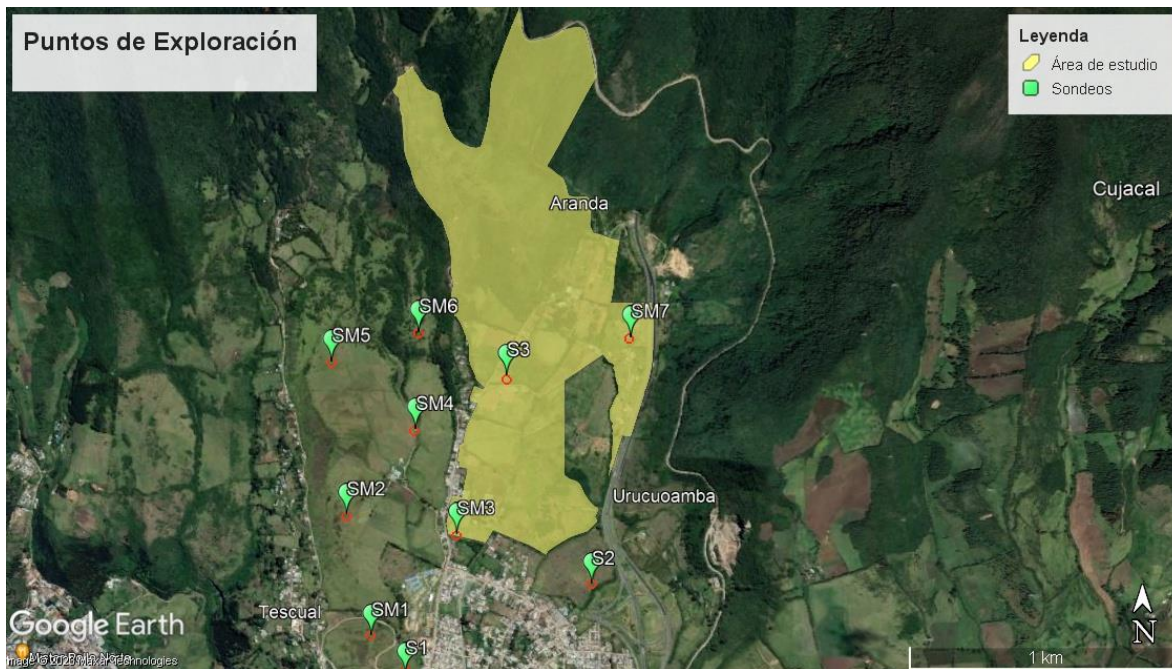
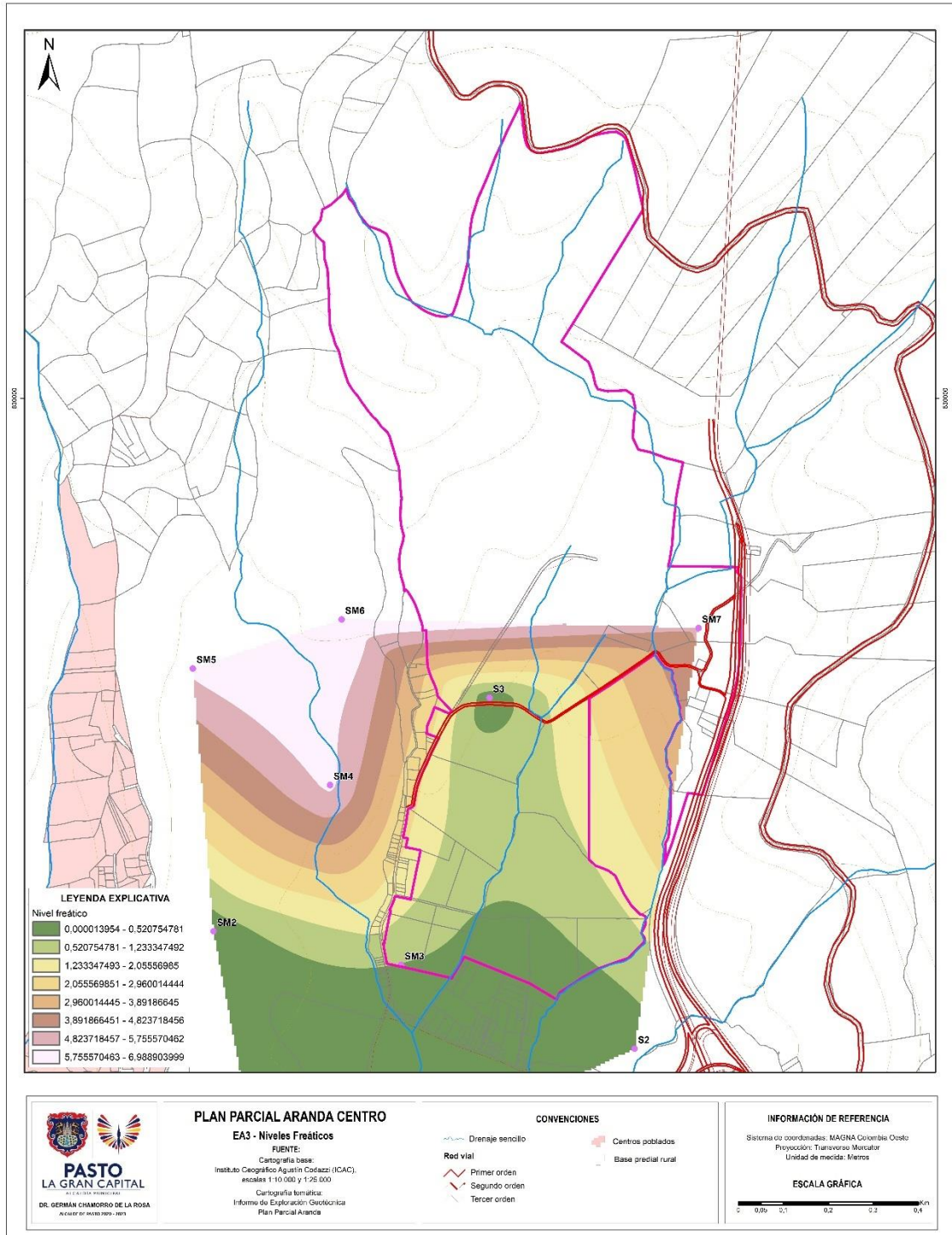


Figura 15. Localización puntos de exploración geotécnica
Fuente: SPM (2023)

De acuerdo a la anterior imagen, podemos observar que, de los 10 puntos de exploración, 3 de estos coinciden con el área de estudio, el punto SM3, SM7 y el S3. En los puntos SM7 y SM3 se evidencio nivel freático, a profundidades de 5 metros y 0,5 metros respectivamente.

Teniendo en cuenta los niveles freáticos encontrados en los puntos de perforación y exploración, se realizó un modelo digital que permite espacializa estos niveles en el área de estudio, lo que nos permite observar entre que profundidades se encuentra el área de estudio. A continuación, se presenta el mapa de niveles freáticos:



Mapa 17. Niveles freáticos
Fuente: SPM (2023)

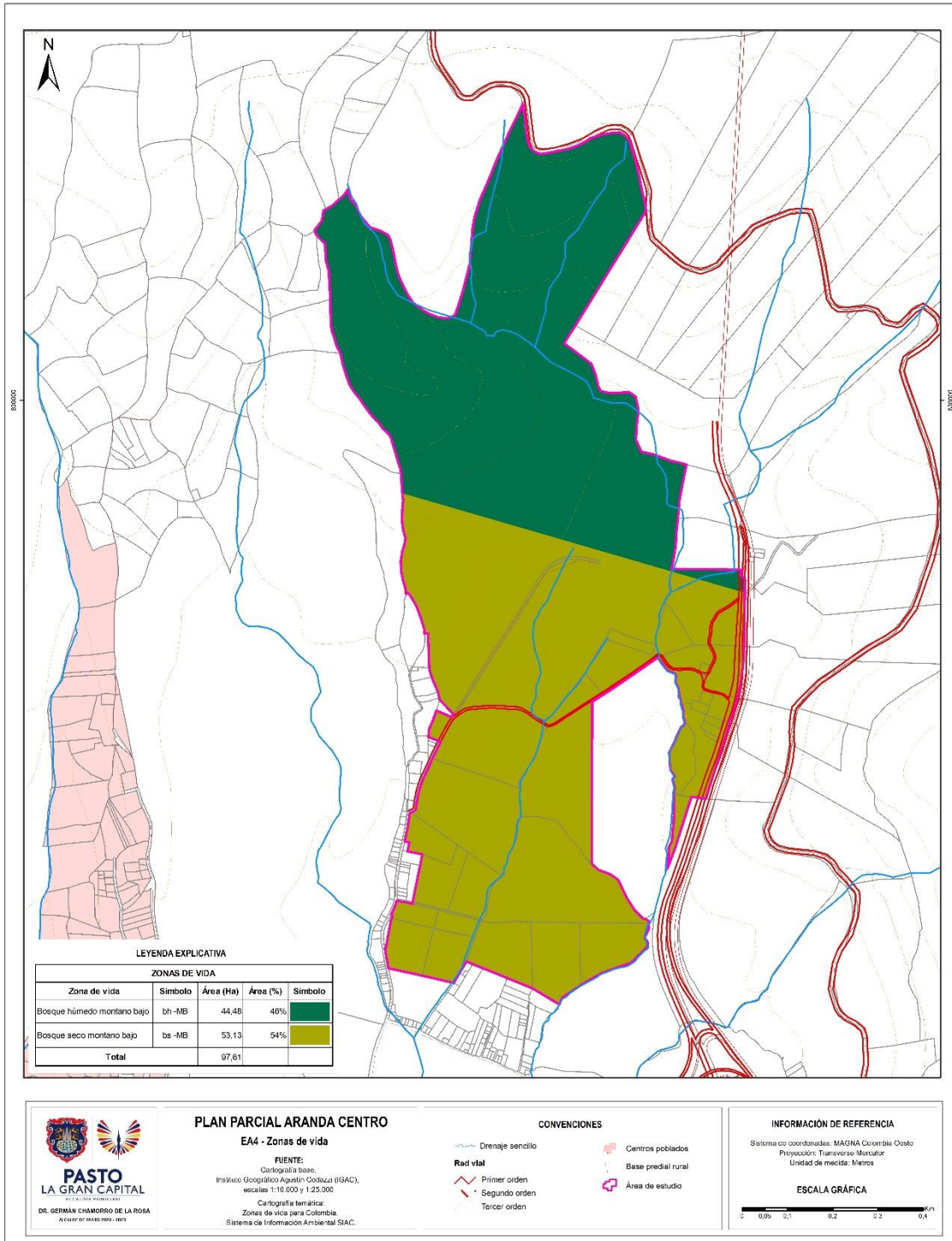
Con respecto, al anterior mapa podemos observar que la zona sur del área de estudio presenta información sobre niveles freáticos, en esta zona los niveles freáticos van desde los 0,5 metros a 5 metros de profundidad, en la zona norte de esta área, se encontró presencia de agua aproximadamente a los 5 metros y en la zona sur del área el nivel freático se encuentra a una profundidad aproximada de 0,5 metros.

2.1.8 Flora y fauna

2.1.8.1 Caracterización de Flora

La clasificación de Holdrige, asocia o identifica unidades ecosistémicas en base a diferentes variables climáticas, como evapotranspiración potencial, biotemperatura, precipitación asociados a la latitud y altitud, esto da como resultado las zonas de vida de un territorio, específicamente, define las áreas con formaciones vegetales con condiciones ambientales similares.

El área de estudio, se encuentra en dos zonas de vida, la parte norte del área de estudio se encuentra en la zona de vida Bosque húmedo montano bajo (bh -MB), que registra una temperatura promedio entre 12°C a 18°C, se encuentra en alturas entre los 2000 a 2500 m.s.n.m y precipitaciones entre 1000 y 2000 mm. Esta zona de vida comprende 44, 5 hectáreas. La parte sur del área de estudio se encuentra en la zona de vida Bosque seco montano bajo (bs -MB), registra una temperatura promedio entre 12°C a 18°C, lluvias entre los 500 y 100 mm anuales y se localiza entre 2000 y 3000 m.s.n.m. Esta zona de vida cubre un área de 53,1 Hectáreas. A continuación, se presentan las zonas de vida del área de estudio:



Mapa 18. Zonas de vida
Fuente: SPM (2023)

En el POMCA de la Cuenca del Río Juanambú (CORPONARIÑO, 2019), se calcula el índice de fragmentación, que cuantifica el grado o tipo de fragmentación de los diferentes tipos de cobertura natural de la tierra. La fragmentación, es la división de un hábitat originalmente continuo, en relictos remanentes. Para el área de estudio, la fragmentación presenta una calificación de moderada, por lo cual, existe una pérdida moderada de la cobertura del suelo y esto se asocia a la pérdida del hábitat, esto se evidencia, ya que, a pesar, de ser una zona que se encuentra muy cerca al perímetro urbano, aún conserva una cobertura de bosques y áreas seminaturales, que abarca un área de 45, 5 Hectáreas aproximadamente, es decir, representa el 46, 6% del área total de la zona de estudio.

CORPONARIÑO (2019), también calcula el índice de ambiente crítico, que identifica el estado – presión de una zona o la transformación que presenta ese territorio y la presión poblacional sobre el mismo. La zona norte del municipio, donde se conserva cobertura de bosque, corresponde a una zona relativamente estable o relativamente intacto, conservado y sin amenazas inminentes. Aproximadamente 18 hectáreas de la zona norte del área de estudio presentan este estado.

Según la caracterización de vegetación y flora realizada para la cuenca del río Juanambú, desarrollado en el POMCA (CORPONARIÑO, 2019), dos de los puntos de muestreo de flora (Daza y Chachatoy), pertenecen a las mismas zonas de vida presentes en el área de estudio, por lo tanto, se pueden desarrollar las mismas especies de vegetación, así mismo, estas dos localidades de los puntos de muestreo se ubican en el corregimiento de Morasurco. A causa de los antes mencionado, conforme al POMCA, el área de estudio se caracteriza por tener dos coberturas, bosque denso y arbustal denso, en donde, de acuerdo al análisis realizado, se podrían desarrollar las siguientes especies: *Miconia caudata*, *Weinmannia pubescens*, *Quercus humboldtii*, *Morella pubences*, *Clethra ovalifolia*, *Myrcianthes orthostemon*, *Baccharis salicina*, *Croton ferrugineus*, *Palicourea angustifoliay* *Acacia lehmannii*.

Para realizar una caracterización de flora más detallada del área de estudio, se tuvo en cuenta la identificación de las principales especies arbóreas realizada por Luna *et al.*, (2022) en el corregimiento de Morasurco, en donde, mediante la utilización de la metodología de investigación acción participativa (IAP), que incluye revisión de información secundaria, aplicación de encuestas, recorridos de campo y talleres participativos, se logró obtener una base de datos con la información etnobotánica brindada por la comunidad, que fue analizada mediante estadística descriptiva, porcentajes y frecuencia y el índice de importancia cultural propuesto por Briceño *et al.*, (2017) citado por Luna *et al.*, (2022).

El **índice de importancia cultural** (IIC), corresponde a un índice que permite identificar las especies arbóreas de un territorio que tienen una mayor significancia cultural para la comunidad, que se basa en la intensidad de usos, valor de los usos y la frecuencia de nombramientos para cada especie. Lo anterior, da como resultado el reconocimiento de las especies que son más conocidas por los habitantes de la zona. Para calcular el índice se necesitar determinar la intensidad de luz (U), la frecuencia de mención (Fmz) y el valor de uso (Vuz) para cada especie arbórea identificada, se utiliza la siguiente fórmula:

$$IIC = \frac{(Iuz + Fmz + Vutz)}{300}$$

En donde:

Intensidad de uso (U): Porcentaje de usos en los que aparece cada una especie.

$$Iu = \frac{\text{Número de usos de la especie } X}{\text{Número total de usos para todas las especies}} * 100$$

Frecuencia de mención (Fm): Sumatoria de menciones para una especie, todos los usos y todos los informantes.

$$Fm = \frac{\text{Número de menciones de la especie } X \text{ para todos los usos}}{\text{Número total de menciones de todas las sp para todos los usos}} * 100$$

Valor de uso x (Vux): Porcentaje de usos en los que aparece una especie para un uso determinado.

$$Vu = \frac{\text{Número de menciones de la especie } X \text{ para un uso}}{\text{Número total de menciones de todas las sp para un uso}} * 100$$

Una vez se calcula el valor de uso de cada una de las especies, se realiza la sumatoria y se obtiene un solo uso y se aplica la fórmula general.

También se calcula el índice **Nivel de uso significativo** (Nus), que valora las especies que tienen una mayor aceptación cultural, se calcula con la siguiente fórmula:

$$Nus = \frac{Fc}{Nte} * 100$$

En donde,

Frecuencia de citas por especie (Fc) y Número de total de encuestados (Nte)

El conocimiento local permitió identificar las especies arbóreas y arbustivas que existen en el corregimiento de Morasurco, es importante, resaltar que el área de estudio, se encuentra ubicada en las veredas la Merced y San Antonio de Aranda, que pertenecen a este corregimiento. El corregimiento presenta 4 zonas de vida, bosque húmedo premontano, bosque muy húmedo montano bajo, bosque seco montano bajo y bosque húmedo montano bajo, en donde, la zona de vida más representativa es el bosque húmedo montano bajo. Por lo anterior, las condiciones ambientales que se presentan en la investigación realizada por Luna *et al.*, (2022). son similares a las presentadas en el área de estudio. La zona norte del área de estudio, presenta una cobertura de bosques y áreas seminaturales, en donde se podrían desarrollar las especies identificadas por Luna *et al.*, (2022).

En el estudio, se encontraron un total de 37 especies leñosas perennes, que pertenecen a 33 familias, entre las más significativas están: *Cunoniaceae*, *Miricaceae*, *Pentafilaceae*, *Fagaceae*, *Fabaceae*, *Adoxaceae*, y *Mirtaceae*, de estas, 31 son nativas y 6 son introducidas. Las especies encontradas se detallan a continuación:

Nombre Científico	Nombre común	Familia	Procedencia	
			Nativa	Introducida
<i>Acacia decurrens</i> Willd.	Acacia, A. negra	Fabaceae		X
<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	Aliso	Betulaceae		X
<i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav	Chilca	Asteraceae	X	
<i>Bejaria mathewsii</i> Mutis ex L.	Fragua	Ericaceae	X	
<i>Bocconia frutescens</i> L.	Albarracín o Trompeta	Papaveraceae	X	
<i>Brugmansia arborea</i> L.	Floripondio o Borrachero	Solanaceae	X	
<i>Clidemia capitellata</i> Bonpl. D. Don.	Cordobancillo Peludo	Melastomataceae	X	
<i>Clusia multiflora</i> Kunth.	Manduro	Clusiaceae	X	
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Ciprés	Cupressaceae		X
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Eucalipto	Myrtaceae		X
<i>Euphorbia laurifolia</i> Juss. ex. Lam	Lechero o pillo	Euphorbiaceae	X	
<i>Freziera canescens</i> Humb & Bonpl.	Motilón silvestre	Pentaphylacaceae	X	
<i>Hesperomeles goudotiana</i> Decne. Killip.	Cerote	Rosaceae	X	
<i>Hieronyma macrocarpa</i> Müll. Arg	Motilón dulce	Phyllanthaceae	X	
<i>Macleania rupestris</i> Kunth	Chaquilulo	Ericaceae	X	
<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Laurel de cera	Myricaceae	X	
<i>Mimosa quitensis</i> Benth	Guarango	Fabaceae	X	
<i>Miconia theaezans</i> Bonpl. Cogn.	Amarillo	Melastomataceae	X	
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> Kunth.	Arrayán	Myrtaceae	X	
<i>Myrsine coriacea</i> Sw.	Cucharo	Primulaceae	X	
<i>Oreopanax bogotensis</i> Cuatrec.	Mano de oso	Araliaceae	X	
<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth.	Cafetillo	Rubiaceae	X	
<i>Pinus patula</i> Schl.	Pino	Pinaceae		X
<i>Pittosporum undulatum</i>	Jazmín o laurel	Pittosporaceae	X	

Nombre Científico	Nombre común	Familia	Procedencia	
			Nativa	Introducida
Vent.	Huesito			
<i>Prunus serotina</i> Kunth.	Capulí	Rosaceae	X	
<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	Roble	Fagaceae	X	
<i>Roupala pachypoda</i> Cuatrec.	Tacasco	Proteaceae	X	
<i>Saurauia tomentosa</i> Kunth	Moquillo	Actinidiaceae	X	
<i>Sambucus nigra</i> L.	Sauco	Adoxaceae		X
<i>Solanum sycophanta</i> Dunal	Cujaco	Solanaceae	X	
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss ex Kunt	Quillotoco	Bignoniaceae	X	
<i>Tibouchina mollis</i> Bonpl.	Siete cueros	Melastomataceae	X	
<i>Vaccinium meridionale</i> Swartz	Mortiño	Ericaceae	X	
<i>Vallea stipularis</i> L. F.	Campano	Elaeocarpaceae	X	
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Pelotillo	Adoxaceae	X	
<i>Weinmannia pubescens</i> Kunth.	Encino	Cunoniaceae		
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Tachuelo	Rutaceae		

Tabla 29. Especies leñosas perennes corregimiento de Morasurco
Fuente: (Luna et al., 2022)

A parte de la información anterior, Delgado *et al.*, (2019) realizó la caracterización de flora del Parque Tecnológico Ambiental Antanas, que se encuentra localizado en la vereda la Josefina, en el corregimiento de Morasurco, al norte del área de estudio. La vereda Josefina, presenta dos zonas de vida, bosque muy húmedo montano bajo y bosque húmedo montano bajo. Por lo cual, la vegetación presente es representativa de la zona de vida bosque húmedo montano bajo, que coincide con la zona de vida del área de estudio.

Delgado *et al.*, (2019) estableció transectos lineales de 50 x 2 metros al interior del bosque secundario, donde, se tuvieron en cuenta los individuos mayores a 1,5 metros de altura con un DAP mínimo de 2,5 centímetros. Se hizo un total de 665 registros, que corresponden a individuos leñosos de tipo arbustivo y arbóreo. Se distribuyen en 53 taxones florísticos, de 19 órdenes, 33 familias, 44 géneros y 35 especies. Las familias que presentaron mayor número de especies fueron Myrtaceae, Primulaceae, Asteraceae, Lauraceae, Melastomataceae y Proteaceae.

Las especies encontradas en el estudio se detallan en la siguiente tabla:

Nombre Científico	Nombre común	Familia
<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth	Cafetillo	Rubiaceae
<i>Miconia nodosa</i> Cogn.	Palo Mayor	Melastomataceae
<i>Geissanthus serrulatus</i> Willd. ex Roem. & Schult	Charmolán	Primulaceae
<i>Hieronyma serrulatus</i> Müll.Arg.	Motilón dulce	Phyllanthaceae
<i>Roupala pachypoda</i> Cuatrec.	Tacasco	Proteaceae
<i>Viburnum pichinchense</i> Benth.	Pelotillo	Adoxaceae
<i>Nectandra</i> Rol. ex Rottb.	Naranja	Lauraceae
<i>Leandra</i> (Naudin) Cogn.	Amarillo	Melastomataceae
<i>Ficus</i> L.	Higueron	Moraceae
S/D	Aguacatillo	Lauraceae
<i>Saurauia</i> Willd	Moquillo	Actinidiaceae
<i>Cestrum Serrulatus</i> Willd. ex Roem. & Schult.	S/D	Solanaceae
<i>Styrax</i> L.	Cenizo	Styracaceae
<i>Quercus humboldti</i> Bonpl	Roble	Fagaceae
<i>Freziera canescens</i> Humb. & Bonpl.	Motilón silvestre	Pentaphragmaceae
<i>Weinmannia pubescens</i> Kunth	Encino	Cunoniaceae
<i>Panopsis polystachya</i> (Kunth) Kuntze	Pepo – Sindayo	Proteaceae
<i>Aegiphila</i> Jacq.	S/D	Lamiaceae
<i>Billia</i> Peyr.	S/D	Sapindaceae
<i>Piptocoma discolor</i> Kunth	Quinde	Asteraceae
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) Mc Vaugh	Arrayán común	Myrtaceae
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Cucharó	Primulaceae
<i>Myrcia</i> DC. ex Guill.	Arrayán blanco	Myrtaceae
<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Laurel ce cera	Myricaceae
<i>Myrcianthes orthostemon</i> (O. Berg) Grifo	Arrayán de hoja ancha	Myrtaceae
<i>Ilex uniflora</i> Benth.	Tinto	Aquifoliaceae
<i>Hedyosmum goudotianum</i> Solms	Granizo	Chloranthaceae
<i>Gordonia</i> Ellis.	S/D	Theaceae
<i>Clusia</i> L.	Manduro	Clusiaceae
<i>Myrsine coriácea</i> (Sw.) R.Br.	Cucharó blanco	Primulaceae
<i>Alchornea coelophylla</i> Pax & K. Hoffm.	Palo mate - algodoncillo	Euphorbiaceae
<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Impamo	Clusiaceae
<i>Bejaria glauca</i> Humb. & Bonpl.	Fragua	Ericaceae
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto	Myrtaceae

Nombre Científico	Nombre común	Familia
Maytenus verticillata (Ruiz & Pav.) DC.	Lion	Celastraceae
Cavendishia bracteata (Ruiz & Pav. ex A.St.-Hil.) Hoerold	Asnalulo	Ericaceae
Ericaceae incisus (Willd. ex Schult.) Decne. & Planch.	Pumamaque - Mano de oso	Araliaceae
Hesperomeles glabrata (Kunth) M. Roem.	Cerote	Rosaceae
Mauria Kunth	Caspi	Anacardiaceae
Siparuna echinata (Kunth) A.DC.	Surapanga	Siparunaceae
Turpinia heterophylla Briq.	Mantequillo	Staphyleaceae
Brunellia tomentosa Humb. & Bonpl.	Cancho	Brunelliaceae
Solanum ovalifolium Humb. & Bonpl. ex Dunal	Cujaca	Solanaceae
Tibouchina mollis (Bonpl.) Cogn.	Siete cueros - Flor de mayo	Melastomataceae
Erato vulcanica (Klatt) H. Rob.	Santa maría	Asteraceae
Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) Pers.	Chilca	Asteraceae
Ocotea Aubl.	S/D	Lauraceae

Tabla 30. Especies leñosas Parque Ambiental tecnológico Antanas, Vereda Josefina, Morasurco
Fuente: (Delgado et al., 2019)

Según la resolución 1912 de 2017, que establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional y de acuerdo al análisis florístico realizado, en el área de estudio no se identificaron especies forestales que estuvieran amenazadas.

Teniendo en cuenta la información anterior, en el área de estudio, la zona donde se podrían presentar las anteriores especies, está localizada hacia el norte, aquí se puede encontrar masas vegetales significativas que tienen individuos de tipo arbustivo y arboreo. De acuerdo a la cobertura del suelo, en esta zona, se presenta una cobertura de bosque y áreas seminaturales, en la cual, existe bosque fragmentado y herbazal denso.

Esta cobertura de bosques y áreas seminaturales, coincide con elementos de la Estructura Ecológica Municipal, que se definieron en el POT vigente, por lo tanto, esta zona estará destinada a la protección ambiental. En consecuencia, durante las diferentes etapas del proyecto, se deberá garantizar la conservación y protección de esta área, que cubre una extensión de 45,5 Ha.

En dado caso, que el proyecto deba realizar una intervención de la vegetación e individuos arboreos (tala, bloqueo y traslado), que no se encuentren en zona de protección, es necesario, que se realice la compensación, la cual deberá cumplir con los lineamientos o condiciones que establezca la Autoridad Ambiental competente, sin embargo, es recomendable analizar con antelación la situación y las alternativas que se puedan

presentar, como conservar los individuos arbóreos, a tra vez de la modificación de los diseños, en donde, se evite el daño de los mismos.

La compensación, puede ser la plantación de nuevo arbolado, la plantación de individuos que tengan mayor porte y la recuperación de zona dura para que se creen nuevos espacios para la plantación de árboles. Lo anterior deberá definirse en la propuesta paisajista que se realizará antes de la ejecución del proyecto.

Así mismo, debido a que el Plan Parcial tiene una gran área de protección, en donde, hay elementos de la Estructura ecológica Municipal, es necesario, que se contemple la siembra de especies forestales y otras coberturas vegetales para mejorar la calidad paisajista y favorecer y mantener la conectividad ecológica con los elementos de la estructura.

2.1.8.2 Caracterización de Fauna

Para la caracterización de la fauna, se debe tener en cuenta que en el predio Aranda predominan dos coberturas, bosques y áreas seminaturales y territorios agrícolas, por lo cual, la fauna existente estará localizada en su mayoría en la cobertura de bosque, que está ubicada en la parte norte del área de estudio, hacia el parque reserva natural Janacatú y hacia el corredor de transición rural cabrera – Morasurco.

En el año 2022, se desarrolló el proyecto *Bioblitz en ocho Biodiversidades*, en el marco de Biodiversidades, una iniciativa del gobierno Nacional que se incluye en el Plan Nacional de Desarrollo, en el cual se llevaron a cabo actividades de monitoreo participativo, de avifauna, de especies de anfibios y reptiles e insectos en 8 ciudades de Colombia (Armenia, Barrancabermeja, Montería, Yopal, Leticia, Villavicencio, Manizales y Pasto). En cada ciudad se seleccionó con la comunidad las áreas verdes del tejido urbano adecuadas para el monitoreo, para la ciudad de Pasto, se escogió el Parque tecnológico Ambiental Antanas, CORPONARIÑO y parque reserva Janacatú. Por ende, se utilizaron estos inventarios rápidos de biodiversidad o Bioblitz para caracterizar la fauna del área de estudio.

Estos inventarios son el resultado de la revisión de información secundaria, revisada y depurada y el registro de especies observadas durante el Bioblitz o inventarios rápidos, por medio de detecciones visuales.

El inventario de avifauna realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2022) en el marco del proyecto Bioblitz, se realizó en cuatro jornadas durante dos días y previamente se realizaron jornadas de capacitación, para la detección visual y auditiva de aves se efectuaron recorridos por senderos y caminos en los tres puntos seleccionados, empleando binoculares con un alcance de 10x42 y 8x42. Los registros auditivos dudosos, se revisaron y se compararon con archivos de bases sonoras en línea como Xeno-Canto. Para la ciudad de Pasto se obtuvieron los siguientes resultados:

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Chamaepetes goudotii</i>	Pava maraquera	Cracidae
<i>Penelope montagnii</i>	Pava andina	Cracidae
<i>Columba livia</i>	Paloma	Columbidae
<i>Columbina talpacoti</i>	Tortolita	Columbidae
<i>Patagioenas cayennensis</i>	Paloma	Columbidae
<i>Patagioenas fasciata</i>	Paloma	Columbidae
<i>Zenaida auriculata</i>	Tortola	Columbidae

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Crotophaga ani</i>	Garrapatero	Cuculidae
<i>Piaya cayana</i>	Cuco ardilla	Cuculidae
<i>Aeronautes montivagus</i>	S/D	Apodidae
<i>Streptoprocne rufila</i>	Vencejo	Apodidae
<i>Streptoprocne zonaris</i>	Vencejo	Apodidae
<i>Adelomyia melanogenys</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Agelaiocercus kingii</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Chaetocercus mulsant</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Chlorostilbon melanorhynchus</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Coeligena lutetiae</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Coeligena torquata</i>	Colibrí navideño	Trochilidae
<i>Colibri coruscans</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Colibri cyanotus</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Doryfera ludovicae</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Ensifera ensifera</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Eriocnemis vestita</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Eriocnemis mosquera</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Heliangelus exortis</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Lesbia nuna</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Lesbia victoriae</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Metallura tyrianthina</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Ramphomicron microrhynchum</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Saucerottia saucerottei</i>	Colibrí	Trochilidae
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota	Laridae
<i>Actitis macularius</i>	S/D	Scolopacidae
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cormorán	Phalacrocoracidae
<i>Bubulcus ibis</i>	Garza del ganado	Ardeidae
<i>Cathartes aura</i>	S/D	Cathartidae
<i>Coragyps atratus</i>	Gallinazo	Cathartidae
<i>Accipiter striatus</i>	S/D	Accipitridae
<i>Buteo platypterus</i>	Águila cuaresmera	Accipitridae
<i>Circus cinereus</i>	S/D	Accipitridae
<i>Elanoides forficatus</i>	S/D	Accipitridae
<i>Elanus leucurus</i>	S/D	Accipitridae
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	S/D	Accipitridae
<i>Rupornis magnirostris</i>	Gavilán pollero	Accipitridae
<i>Asio flammeus</i>	S/D	Strigidae
<i>Glaucidium jardinii</i>	Búho	Strigidae
<i>Colaptes rivolii</i>	Carpintero	Picidae
<i>Andigena hypoglauca</i>	Paletón	Ramphastidae
<i>Caracara plancus</i>	S/D	Falconidae
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón	Falconidae

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Falco sparverius</i>	Halcón	Falconidae
<i>Milvago chimachima</i>	Pigua	Falconidae
<i>Phalcoboenus carunculatus</i>	Curiquinga	Falconidae
<i>Psittacara wagleri</i>	Loro maicero	Psittacidae
<i>Pionus chalcopterus</i>	S/D	Psittacidae
<i>Pheucticus aureoventris</i>	S/D	Cardinalidae
<i>Piranga flava</i>	S/D	Cardinalidae
<i>Piranga rubra</i>	S/D	Cardinalidae
<i>Piranga rubriceps</i>	S/D	Cardinalidae
<i>Cyanocorax yncas</i>	Carriquí	Corvidae
<i>Ampelion rubrocristatus</i>	S/D	Cotingidae
<i>Pipreola arcuata</i>	S/D	Cotingidae
<i>Chlorophonia cyanocephala</i>	S/D	Fringillidae
<i>Euphonia xanthogaster</i>	S/D	Fringillidae
<i>Spinus magellanicus</i>	S/D	Fringillidae
<i>Spinus psaltria</i>	S/D	Fringillidae
<i>Spinus spinescens</i>	S/D	Fringillidae
<i>Asthenes fuliginosa</i>	S/D	Furnariidae
<i>Lepidocolaptes lacrymiger</i>	S/D	Furnariidae
<i>Synallaxis azarae</i>	S/D	Furnariidae
<i>Grallaria quitensis</i>	Comprapán	Grallariidae
<i>Grallaria ruficapilla</i>	S/D	Grallariidae
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina	Hirundinidae
<i>Orochelidon murina</i>	Golondrina	Hirundinidae
<i>Progne tapera</i>	Golondrina	Hirundinidae
<i>Cacicus chrysonotus</i>	S/D	Icteridae
<i>Icterus chrysater</i>	Curillo	Icteridae
<i>Molothrus bonariensis</i>	S/D	Icteridae
<i>Molothrus oryzivorus</i>	S/D	Icteridae
<i>Mimus gilvus</i>	S/D	Mimidae
<i>Leiothlypis peregrina</i>	S/D	Parulidae
<i>Myioborus miniatus</i>	S/D	Parulidae
<i>Myioborus melanocephalus</i>	S/D	Parulidae
<i>Myiothlypis coronata</i>	S/D	Parulidae
<i>Setophaga fusca</i>	S/D	Parulidae
<i>Arremon assimilis</i>	S/D	Passerellidae
<i>Arremon brunneinucha</i>	S/D	Passerellidae
<i>Atlapetes albinucha</i>	S/D	Passerellidae
<i>Atlapetes latinuchus</i>	S/D	Passerellidae
<i>Chlorospingus flavopectus</i>	S/D	Passerellidae
<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrion	Passerellidae
<i>Atlapetes schistaceus</i>	S/D	Passerellidae
<i>Scytalopus latrans</i>	S/D	Rhinocryptidae
<i>Thamnophilus multistriatus</i>	S/D	Thamnophilidae

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Anisognathus igniventris</i>	S/D	Thraupidae
<i>Anisognathus lacrymosus</i>	S/D	Thraupidae
<i>Anisognathus somptuosus</i>	S/D	Thraupidae
<i>Buthraupis montana</i>	S/D	Thraupidae
<i>Catamenia homochroa</i>	S/D	Thraupidae
<i>Catamenia inornata</i>	S/D	Thraupidae
<i>Conirostrum cinereum</i>	S/D	Thraupidae
<i>Diglossa albilatera</i>	S/D	Thraupidae
<i>Diglossa humeralis</i>	S/D	Thraupidae
<i>Diglossa cyanea</i>	S/D	Thraupidae
<i>Diglossa lafresnayii</i>	S/D	Thraupidae
<i>Diglossa sittoides</i>	S/D	Thraupidae
<i>Haplospiza rustica</i>	S/D	Thraupidae
<i>Pipraeidea melanonota</i>	S/D	Thraupidae
<i>Sicalis flaveola</i>	S/D	Thraupidae
<i>Sicalis luteola</i>	S/D	Thraupidae
<i>Sporophila nigricollis</i>	S/D	Thraupidae
<i>Tachyphonus Rufus</i>	S/D	Thraupidae
<i>Stilpnia heinei</i>	S/D	Thraupidae
<i>Stilpnia vitriolina</i>	S/D	Thraupidae
<i>Thlypopsis ornata</i>	S/D	Thraupidae
<i>Sporathraupis cyanocephala</i>	S/D	Thraupidae
<i>Thraupis episcopus</i>	S/D	Thraupidae
<i>Thraupis palmarum</i>	S/D	Thraupidae
<i>Henicorhina leucophrys</i>	S/D	Troglodytidae
<i>Troglodytes aedon</i>	S/D	Troglodytidae
<i>Catharus aurantiirostris</i>	S/D	Turdidae
<i>Catharus ustulatus</i>	S/D	Turdidae
<i>Myadestes ralloides</i>	Columpio	Turdidae
<i>Turdus fuscater</i>	Chiguaco	Turdidae
<i>Turdus ignobilis</i>	S/D	Turdidae
<i>Agriornis montanus</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Anairetes parulus</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Contopus sordidulus</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Contopus virens</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Elaenia flavogaster</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Elaenia frantzii</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Elaenia pallatangae</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Mionectes striaticollis</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Myiarchus apicalis</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Myiodynastes chrysocephalus</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Myiophobus flavicans</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Myiotheretes striaticollis</i>	S/D	Tyrannidae

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Myiothlypis nigrocristata</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Ochthoeca cinnamomeiventris</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Ochthoeca fumicolor</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Pyrrhomyias cinnamomeus</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Sayornis nigricans</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Sirirí	Tyrannidae
<i>Tyrannus tyrannus</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Zimmerius chrysops</i>	S/D	Tyrannidae
<i>Vireo leucophrys</i>	S/D	Vireonidae
<i>Vireo olivaceus</i>	S/D	Vireonidae

Tabla 31. Inventario Avifauna en Parque Ambiental Antanas, CORPONARIÑO y Parque Reserva Janacatú

Fuente: (Modificado de Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2022)

Se registraron 147 especies de aves que se distribuyen en 34 familias. Las familias más representativas son Trochilidae, Thraupidae y Tyrannidae.

Con respecto a las especies de anfibios y reptiles (Herpetofauna), el inventario rápido con la comunidad en el marco del proyecto de Bioblitz se realizó en tres etapas: Previo al Bioblitz se crearon los proyectos en la plataforma Naturalista y se definió el cronograma de actividades con las áreas y grupos biológicos, con el fin de tener el orden de los participantes en los muestreos de cada grupo taxonómico, los inventarios estuvieron liderados por un especialista en herpetos, un coordinador, un líder de línea y un comunicador, que se rotaron por los diferentes grupos. A los participantes se les entregó un kit de explorador de la biodiversidad, que contenía, libreta de campo, bolígrafo, lápiz, borrador, tajalápiz, regla, lupa y tula de tela.

Durante el Bioblitz, los participantes recolectaron los datos en el aplicativo Naturalista, durante las caminatas pausadas que realizaron, en donde, revisaron todos los microhábitats preferidos por las especies de herpetos como la hojarasca, troncos, cuerpos de agua, ramas, hojas, entre otros. El anterior levantamiento de información se realizó, de acuerdo, a las recomendaciones de los expertos para la captura y/o registro de especies. Cierre del Bioblitz, en esta etapa el equipo de trabajo del proyecto, liderado por los especialistas de cada grupo taxonómico, descargaron los datos registrados de la aplicación Naturalista Colombia (archivo csv) y realizaron la curaduría de la información, basándose en guías taxonómicas, claves para precisar los registros y bases de datos de especies documentadas como The Reptile Database <http://www.reptile-database.org> (Uetz, P. et al., (2022), Amphibian Species of the World: an online reference. Versión 6.1 (Frost y Darrel R. 2022), Electronic Database accesible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php> (American Museum of Natural History, New York, USA., y Acosta Galvis, A. R. 2023) y la Lista de los Anfibios de Colombia: Referencia en línea V.13.2023 Página web accesible en <http://www.batrachia.com>.

Las especies de herpetos encontrados para la ciudad de Pasto fueron los siguientes:

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Atelopus ignescens</i>	S/D	Bufoidea

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Colostethu latinasus</i>	S/D	Dendrobatidae
<i>Gastrotheca espeletia</i>	S/D	Hemiphractidae
<i>Pristimantis unistrigatus</i>	S/D	Strabomantidae
<i>Pholidobolus vertebralis</i>	Minadora	Gymnophthalmidae
<i>Erythrolamprus epinephalus</i>	Falsa coral de agua	Colubridae
<i>Stenocercus ángel</i>	Lagarto arcoíris	Tropiduridae
<i>Riama</i>	S/D	Gymnophthalmidae

Tabla 32. Inventario Herpetofauna en Parque Ambiental Antanas, CORPONARIÑO y Parque Reserva Janacatú

Fuente: (Modificado de Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2023)

Teniendo en cuenta la anterior tabla se registraron 8 especies de herpetos y 7 familias. Los datos registrados se incorporan al Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia), al portal Global de Información en Biodiversidad (GBIF), la Enciclopedia de la Vida (EOL), entre otros.

En relación a los insectos, en el marco del proyecto Bioblitz, los muestreos se realizaron en dos días de registro continuo, en 3 o 4 jorandas de 4 horas de duración, los recorridos fueron libres, previamente el Instituto proporciono la base de datos de registros en cada ciudad, cada participante subió la información a la aplicación Naturalista y una vez terminado el inventario, el equipo de expertos, reviso los registros y trato de llevarlos al nivel taxonómico más detallado, utilizando guías taxonómicas y claves para precisar los registros.

El resultado fue una lista de especies de la clase insecta, que se deriva de la revisión de información secundaria y de las observaciones de la comunidad. Las especies encontradas en la ciudad de Pasto fueron las siguientes:

Nombre científico	Familia
<i>Apis mellifera</i>	Apidae
<i>Bombus rubicundus</i>	Apidae
<i>Cicadulina pastusae</i>	Cicadellidae
<i>Diabrotica decempunctata</i>	Chrysomelidae
<i>Disonychia glabrata</i>	Chrysomelidae
<i>Ennya sobria</i>	Membracidae
<i>Eurema arbela</i>	Pieridae
<i>Gypona exacuta</i>	Cicadellidae
<i>Hemerobius pacificus</i>	Hemerobiidae
<i>Leptophobia Eleusis</i>	Pieridae
<i>Leptophobia pinara</i>	Pieridae
<i>Liriomyza brasiliensis</i>	Agromyzidae
<i>Matsumurasca dimorpha</i>	Cicadellidae
<i>Matsumurasca papae</i>	Cicadellidae
<i>Monticomorpha flavolimbata</i>	Pseudophasmatidae
<i>Neda norrisi</i>	Coccinellidae
<i>Oncopeltus orourkeae</i>	Lygaeidae
<i>Pelidnota prasina</i>	Rutelidae
<i>Pseudomyrmex termitarius</i>	Formicidae

Nombre científico	Familia
<i>Stehlikiana crassa</i>	Cicadellidae
<i>Tolono confusus</i>	Acanthosomatidae
<i>Toxotoma flavofasciata</i>	Coccinellidae
<i>Vanessa carye</i>	Nymphalidae
<i>Zelus longipes</i>	Reduviidae

Tabla 33. Inventario Insectos en Parque Ambiental Antanas, CORPONARIÑO y Parque Reserva Janacatú

Fuente: (Modificado de Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2022)

Conforme a lo anterior, en la zona de estudio, no se presentan especies que se encuentren en amenaza o que son endémicas, por lo cual, no se genera ninguna restricción para realizar el desarrollo urbanístico, a excepción de la zona localizada al norte que coincide con elementos de la Estructura Ecológica Municipal, que son objeto de conservación y protección para que se garanticen y se aseguren los procesos biológicos y ecológicos del territorio.

2.1.9 Uso y cobertura del suelo

2.1.9.1 Cobertura del suelo

Con respecto al acuerdo 004 de 2015, por el cual, se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio de Pasto 2015 – 2027 Pasto Territorio con sentido, la zona de Aranda se clasifica como suelo de expansión urbana, que significa que esta área del territorio se habilitará para el desarrollo de usos urbanos durante la vigencia del POT.

Para realizar el análisis de cobertura de la zona de estudio, se tomó como referencia las coberturas identificadas en el Plan Parcial Aranda, realizado por CIDETER en 2017, se revisó la información, se comparó con la imagen satelital de Google Maps del año 2022, por medio del procesamiento en ArcGIS se ajustaron los polígonos de las coberturas y se codificaron con respecto a la Nomenclatura Corine Land Cover adaptada para Colombia.

En la zona de estudio se identificaron las siguientes coberturas:

Tipo de cobertura (nivel 1)	Tipo de cobertura (nivel 2)	Tipo de cobertura (nivel 3 y 4)	Uso del suelo	Área (Ha)	% Ocupación
1. Territorios artificializados	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.2 Tejido urbano discontinuo	Residencial	1,5	2
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociado	Movilidad	1,1	1
2. Territorios agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1 Pastos Limpios	Agropecuario	31,6	32

	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1 Mosaico de cultivos	Agropecuario	17,3	18
3. Bosques y áreas Seminaturales	3.1 Bosques	3.1.3 Bosque Fragmentado	Protección	35,2	36
		3.1.4 Bosque de galería y ripario	Protección	1,5	2
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1.1 Herbazal denso	Protección	9,4	10
		Total			97,6

Tabla 34. Coberturas del suelo predio Aranda

Fuente: Elaboración propia, adaptada de la leyenda nacional de coberturas de la tierra (IDEAM, 2010)

Según la anterior tabla, el área total del predio es de 97,6 Ha. En el predio predominan dos coberturas principalmente, la primera es la cobertura de bosques y áreas seminaturales, en donde, la cobertura de bosque fragmentado cubre un área de 35, 2 Ha, el bosque de galería y ripario tiene un área de 1,5 Ha y la cobertura herbazal denso tiene un área de 9,4 Ha, que en total sería 46, 1 Ha que representa el 47% del área total de la zona de estudio y la segunda cobertura corresponde a territorios agrícolas, en donde la cobertura de pastos limpios abarca un área de 31,6 Ha y la cobertura de mosaico de cultivos, que tiene un área de 17,3 Ha en total sería 48,9 Ha que representa el 50% del área total de la zona de estudio.

El predio también tiene una cobertura de territorios artificializados que tiene un área de 2,6 Ha conformada por tejidos urbano discontinuo, con un área de 1,5 Ha y por una red vial, ferroviaria y terrenos asociados, con un área de 1,1 Ha, lo anterior, representa el 3% del área total de la zona de estudio.

- **Territorios artificializados**

Comprende las áreas que han sido fuertemente intervenidas por la acción del hombre, estos territorios artificializados corresponden a las áreas de las ciudades y las poblaciones y áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio de uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos (IDEAM, 2010). En la zona de estudio se encuentran las siguientes coberturas:

- Tejido urbano discontinuo (1.1.2)

Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de forma dispersa y discontinua, el resto del área está cubierta por vegetación (IDEAM, 2010).

- Red vial, ferroviaria y terrenos asociados (1.2.2)

Son espacios artificiales con infraestructura de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas, se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes (IDEAM, 2010).

- **Territorios Agrícolas**

Son esas áreas dedicadas a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren en cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. En la zona de estudio se encuentran las siguientes coberturas (IDEAM, 2010).

- Pastos limpios (2.3.1)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos que deben tener un cubrimiento mayor al 70% (IDEAM, 2010).

- Mosaico de cultivos (2.4.1)

Comprende las tierras ocupadas con cultivos anuales, transitorios o permanentes, en los cuales el tamaño de parcelas es muy pequeño, inferior a 25 Ha y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual (IDEAM, 2010).

- **Bosques y áreas seminaturales**

Son tierras en donde hay coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, que se desarrollan sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, que son el resultado de procesos climáticos, también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos, que resultan de procesos naturales o inducidos de degradación (IDEAM, 2010). En la zona de estudio existen las siguientes coberturas:

- Bosque fragmentado (3.1.3)

Esta cobertura comprende extensión de tierras cubiertas por bosque naturales densos o abiertos cuya continuidad se encuentra afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pastos, cultivos o vegetación de transición (IDEAM, 2010).

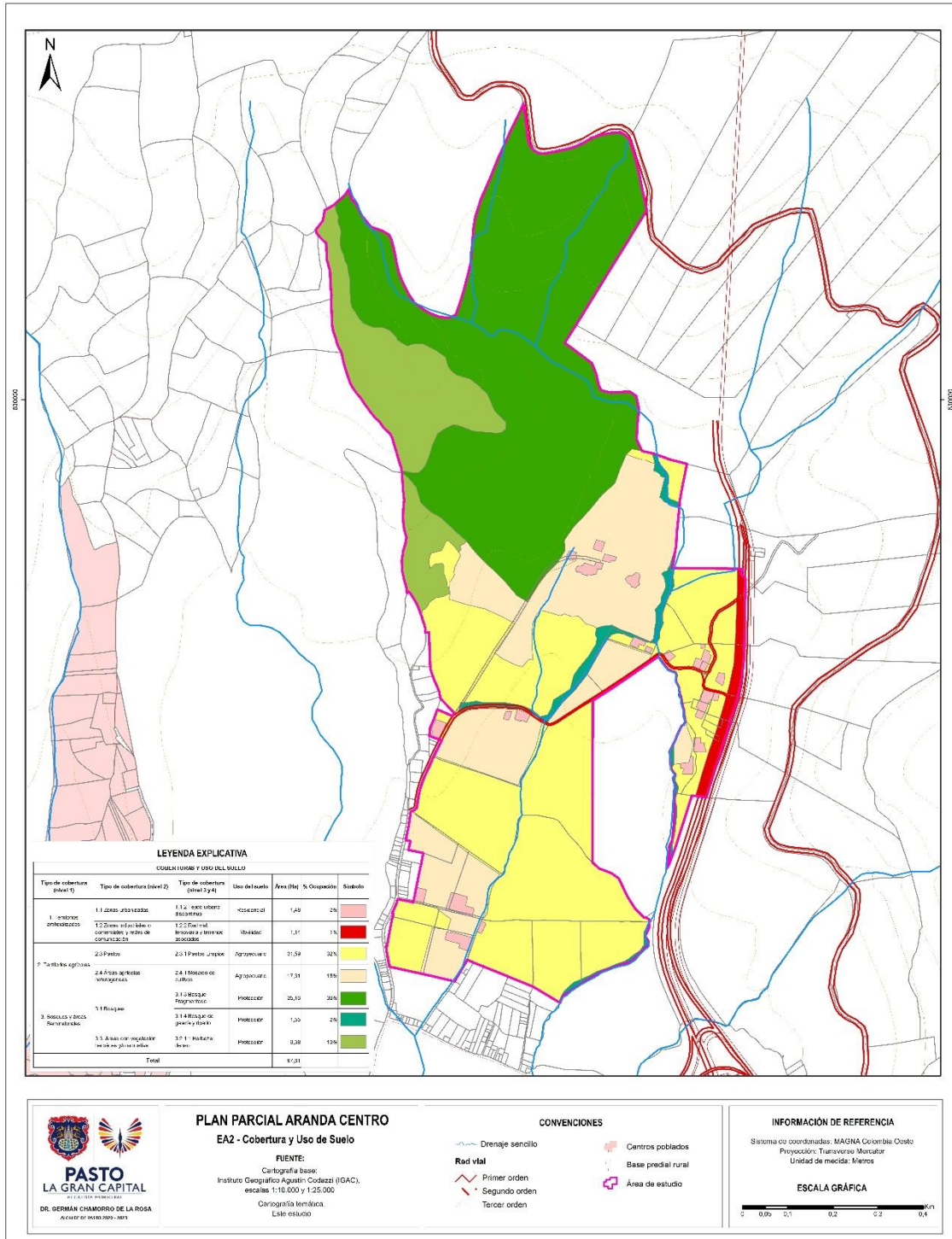
- Bosque de galería y ripario (3.1.4)

Esta cobertura está constituida por vegetación arborea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Esta cobertura está limitada por su amplitud, debido a que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales (IDEAM, 2010).

- Herbazal denso (3.2.1.1)

Son áreas cubiertas por un estrato herbáceo, solo o con presencia de árboles o arbustos aislados (IDEAM, 2010).

A continuación, se presenta el mapa de cobertura de suelo para el predio Aranda:



Mapa 19. Cobertura del suelo
Fuente: SPM (2023)

El área de influencia hacia la parte sur y oriente presenta una cobertura de tejido urbano discontinuo con algunos sectores de pastos y mosaico de cultivos, esto se evidencia, debido a que esta zona sigue siendo parte de la zona rural del municipio, hacia el norte se presenta una cobertura de bosques y áreas seminaturales que refleja también la protección ambiental y poca intervención humana que existe en la parte rural y finalmente hacia la parte oriental se encuentra la vía variante oriental del municipio.

2.1.10 Estructura Ecológica Municipal

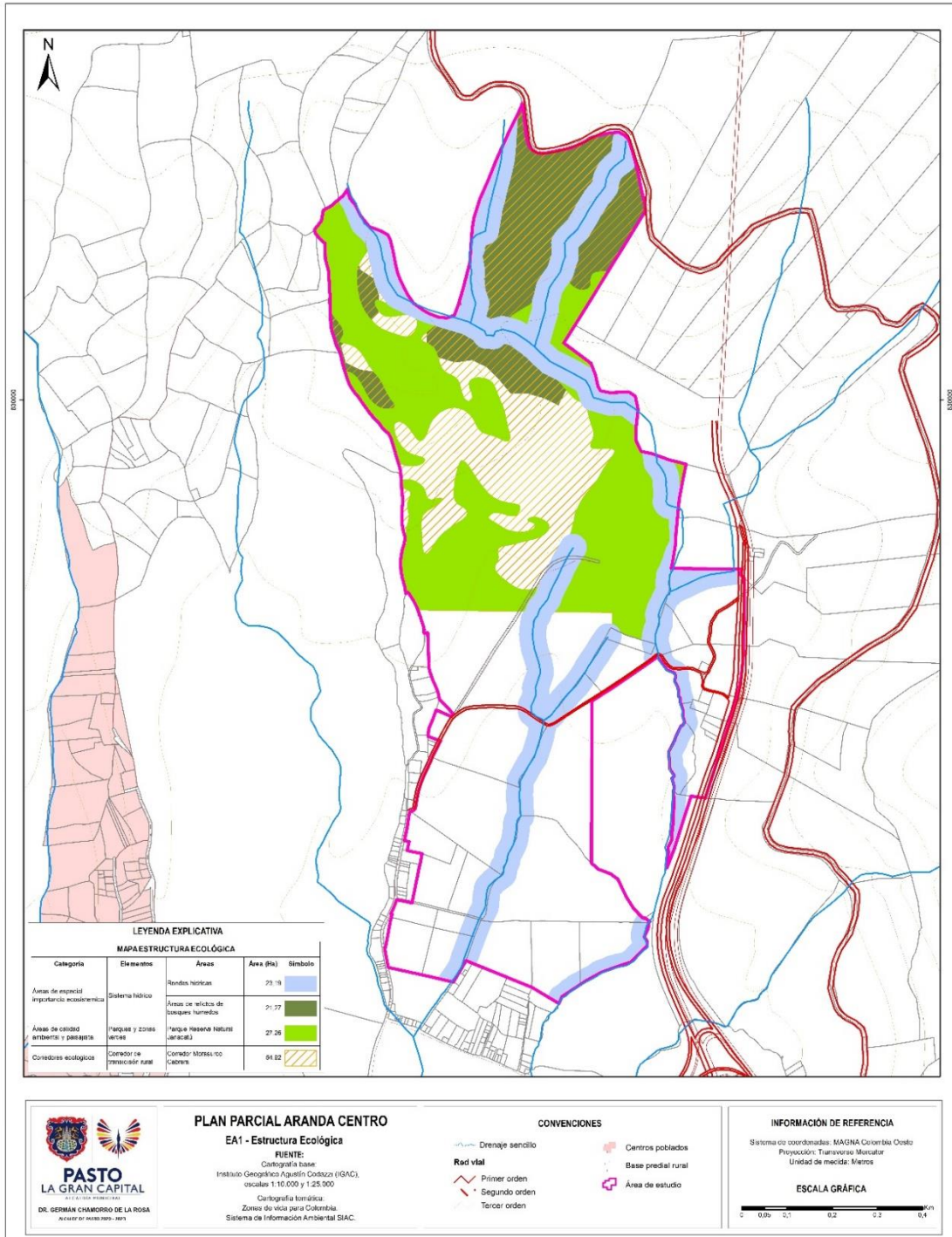
De acuerdo a lo establecido en el artículo 46 del acuerdo 004 de 2015, por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pasto 2015 – 2027 Pasto Territorio con Sentido, la Estructura Ecológica Municipal -EEM es el conjunto de espacios Naturales y seminaturales en suelo urbano, rural y de expansión, cuya interconexión espacial y funcional permite mantener los procesos y funciones ecológicas esenciales, que garantizan la integridad de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos requeridos para el desarrollo socioeconómico y cultural del Municipio. En el artículo 50, del mismo acuerdo, se establece que la EEM está conformada por el sistema de áreas protegidas, las áreas de especial importancia ecosistémica, las áreas de calidad ambiental y paisajista y los corredores ecológicos.

Los elementos de Estructura Ecológica Municipal que se encuentran en el predio del plan parcial Aranda son los siguientes:

Categoría	Elementos	Áreas	Área (Ha)	% Ocupación
Áreas de especial importancia ecosistémica	Sistema hídrico	Rondas hídricas	23,19	18
		Áreas de relictos de bosques húmedos	21,27	16
Áreas de calidad ambiental y paisajista	Parques y zonas verdes	Parque Reserva Natural Janacatú	27,26	21
Corredores ecológicos	Corredor de transición rural	Corredor Morasurco Cabrera	54,92	42

Tabla 35. Estructura Ecológica predio Aranda
Fuente: SPM (2023)

Los elementos de la EE que se encuentran en el área de estudio pueden observarse en el siguiente mapa:



Mapa 20. Estructura Ecológica

Fuente: SPM (2023)

2.1.10.1 Áreas de Especial Importancia Ecosistémica – AEIE

Conforme al acuerdo 004 de 2015, las AEIE son áreas no clasificadas en categorías de protección legal, en las que se concentran funciones naturales de las cuales depende viene y servicios ecosistémicos. Están conformadas por el sistema hídrico, el suelo rural de protección por ecosistemas frágiles de cota superior a los 3000 m.s.n.m. y las áreas con función amortiguadora.

En el área de estudio se encuentran dos elementos de la categoría denominada Sistema hídrico.

- **Sistema hídrico**

Según el acuerdo 004 de 2015, el sistema hídrico lo constituyen todos los elementos naturales o no, que intervienen en la conducción y almacenamiento del recurso hídrico, con el fin de regular el ciclo hidrológico. Forman parte de esta clasificación los nacimientos de agua, acuíferos y sus zonas de recarga, ríos y quebradas, rondas hídricas de los cuerpos de agua, humedales no declarados como áreas protegidas, humedal Ramsar Laguna de la Cocha, paramos y subparamos, lagunas y embalses, sistema de drenaje pluvial sostenible, áreas de relictos de bosques húmedos, áreas de aptitud forestal protectora y áreas abastecedoras de acueductos.

Hacen parte del área de estudio los siguientes elementos:

- Rondas hídricas:

El POT 2015 – 2027 del municipio, en su acuerdo 004 de 2015, establece una franja de protección hídrica no menor a 30 metros de ancho paralela a la línea de aguas máximas, a cada lado de los cauces de los cuerpos hídricos, hasta que se aplique el acotamiento y delimitación de las rondas hídricas por parte de la Corporación Autónoma regional de Nariño -CORPONARIÑO.

Para el área estudio, las franjas de protección hídrica corresponden a las quebradas de la Merced y la Rusia, en el centro se encuentra la franja de la Q. la Rusia y la franja de la Q la Merced, se encuentra al oriente del predio y lo borde a de sur a norte. Estas franjas tienen un área de 23,2 Ha.

- Áreas de relictos de bosque húmedo

El acuerdo 004 de 2015, define a estas áreas como zonas de bosque naturales, ecosistemas compuestos por árboles y arbustos con predominio de especies autóctonas, en un espacio determinado y generados espontáneamente por sucesión natural.

En el área de estudio, se localiza hacia el norte y cubre un área de 21,3 Ha, coincide con el Parque Janacatú y el corredor ecológico de transición rural Morasurco – Cabrera.

2.1.10.2 Áreas de calidad ambiental y paisajista

El acuerdo 004 de 2015, las define como áreas públicas y privadas que aportan al mejoramiento de la calidad ambiental y del paisaje y en consecuencia de las condiciones de hábitat en el municipio, forman parte de esta categoría los parques y zonas verdes, las áreas de control ambiental y los antejardines.

Hacen parte del área de estudio la categoría de parques y zonas verdes, donde se encuentra el Parque Reserva Natural Janacatú.

- **Parques y zonas verdes**

Son áreas públicas que se constituyen en elementos fundamentales para la regulación del clima urbano, del ruido y el mejoramiento de la calidad del aire.

En el área de estudio se encuentra el Parque Suburbano Parque Reserva Natural Janacatú, que se localiza hacia el norte, tiene un área de 54,9 Ha en total, sin embargo, en el POT vigente solo 27,3 Ha se considera como parque y zona verde en la Estructura Ecológica Municipal, esto debido a que la otra parte, 27,6 Ha se establece como zona con pendientes mayores a 45 grados y entra dentro de la categoría áreas de protección geográfica, paisajista o ambiental del suelo de protección urbano.

Este parque coincide con el área de relictos de bosque y el corredor ecológico de transición rural Morasurco – Cabrera.

2.1.10.3 Corredores ecológicos

Corresponden a las áreas y los espacios que unen elementos del Sistema de Áreas Protegidas entre sí o con otros elementos de la Estructura Ecológica Municipal, contribuyendo a mitigar y controlar los efectos de la fragmentación de hábitat, así como al mantenimiento de la biodiversidad, garantizando tanto una oferta de bienes y servicios ambientales como ecosistémicos de soporte y regulación hídrica. Los corredores ecológicos se clasifican en corredores ecológicos hídricos y de transición rural.

En el área de estudio se encuentra el corredor ecológico de transición rural Morasurco Cabrera.

- **Corredor ecológico de transición rural Morasurco Cabrera**

Los corredores de transición rural son espacios naturales o seminaturales con la función de conectar ecológicamente áreas de importancia ecosistémica y áreas protegidas localizadas en el suelo rural y de expansión urbana, así como elementos de la estructura ecológica municipal en áreas de borde urbano rural, para la conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales y ecosistémicos.

El corredor ecológico Morasurco - Cabrera se encuentra hacia el norte del área de estudio, donde tiene influencia directa en el predio, cubre un área de 54, 9 Ha, coincide con el parque Reserva Natural Janacatú y las áreas de relictos de bosque. También se encuentra adyacente al predio hacia el costado occidental.

En este aparte, se presentaron los elementos que conforman la Estructura Ecológica Municipal, que hacen parte de la zona de estudio, los cuales, corresponden a elementos naturales y de importancia ambiental, que restringen el desarrollo urbanístico, es decir, no pueden ser urbanizados, deberán ser zonas destinadas a la protección ambiental y conservación, debido a que permiten, la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos naturales, y de esta forma, se podrá mantener la diversidad biológica. Para el Plan parcial Aranda, los elementos de la estructura ecológica, abarcan un área de 68,5 Ha que representa el 70,2% del área total del Plan parcial.

La ubicación del Plan Parcial es estratégica, dado que, a través de éste se puede garantizar la conectividad ecológica entre los elementos naturales de la zona urbana (Parques, zonas verdes, rondas hídricas) con los elementos de la Estructura Ecológica definidos para la zona

rural del municipio, por lo, cual, la propuesta urbanística y de espacio público deberá ir acorde a esto.

2.2 GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

2.2.1 Riesgo por movimientos en masa

2.2.1.1 Metodología

El área de estudio se encuentra localizada hacia el sector nororiental del municipio de Pasto, delimitada al oriente por la carretera Paso Nacional Pasto.

De acuerdo con la normatividad vigente decreto 1077 de 2015, los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000 se deben realizar en zona urbana, suburbana, periurbana, de expansión y centros poblados, de tal modo que respondan a la necesidad de gestión del municipio en aquellas zonas identificadas como de presión urbanística.

El estudio realizado parte de la identificación de condiciones biofísicas a nivel general y a través de la aplicación de la guía metodológica del servicio geológico para obtener la zonificación y categorización de la amenaza por remoción en masa a esta escala. De la misma manera buscando reducir los márgenes de subjetividad mediante evaluaciones objetivas de las variables y el uso de procedimientos basados en conceptos físicos, ver Figura 16.

La elaboración de los estudios básicos (1:5000) permitió la definición de zonas con condición de amenaza y zonas con condición de riesgo de acuerdo con el esquema metodológico, en las cuales y en los casos que sea necesario se realizaran los estudios detallados a escala 1:2000.

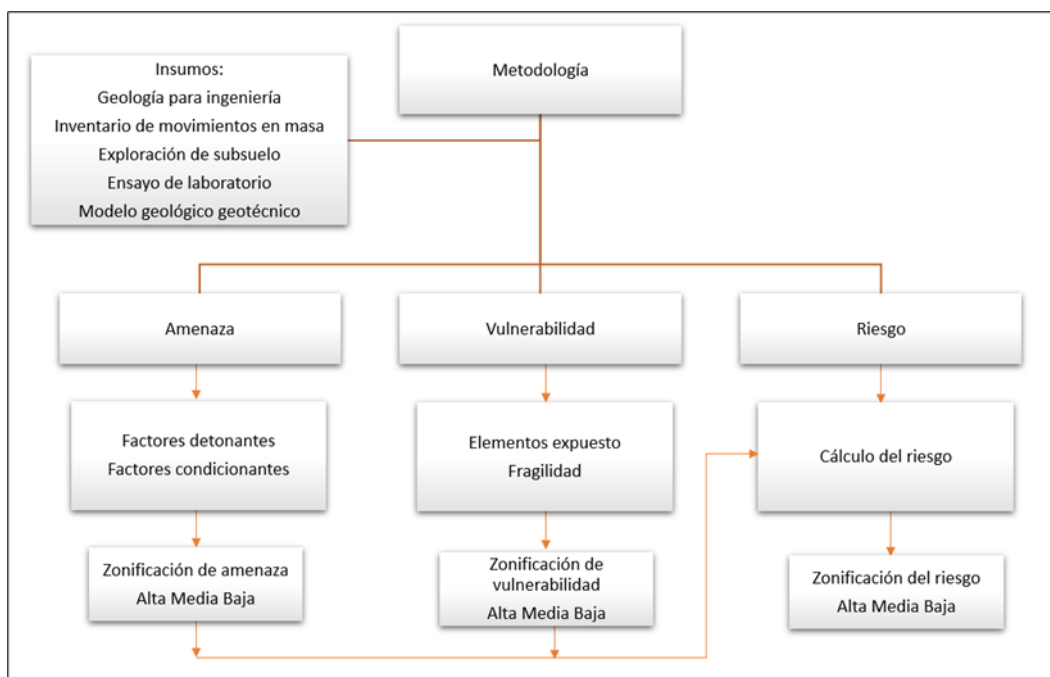


Figura 16. Metodología para análisis de movimientos en masa
Fuente: Adaptado de SGC 2016

2.2.1.2 Exploración del subsuelo

En la exploración de subsuelo se tomó como insumo principalmente la información del Plan Parcial Aranda realizada por CIDETER en el año 2017, en el cual se realizó campañas de exploración geotécnica directa e indirecta.

La exploración de subsuelo directa se adelantó con métodos mecánicos y manuales por rotopercusión de los cuales se realizó recuperación de muestras de los diferentes materiales encontrados, así mismo, los materiales fueron descritos en campo y posteriormente sometidos a ensayos geotécnicos de clasificación por caracterización física y caracterización mecánica. La campaña de exploración indirecta se realizó por métodos geofísicos.

2.2.1.3 Exploración de subsuelo por métodos directos

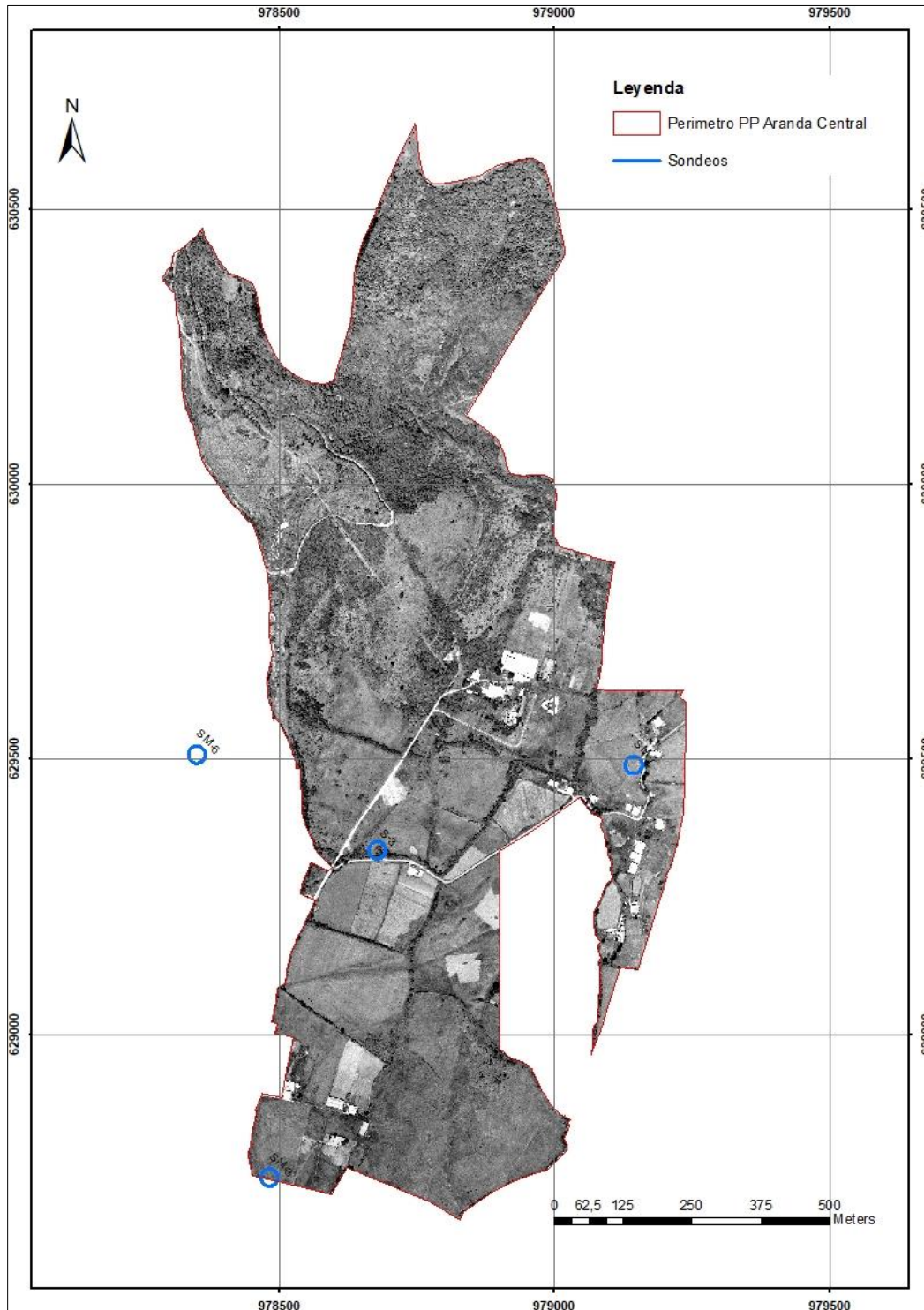
Teniendo en cuenta la información de los estudios geotécnicos realizados por CIDETER en el año 2017 para el estudio del Plan Parcial Aranda, se procedió al análisis de los sondeos que fueron diez (10) en total de los cuales cuatro (4) se encuentran en el área de interés del Plan Parcial Aranda central los cuales se ubican espacialmente en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la Tabla 36 se encuentra el listado de los sondeos analizados.

Así mismo, los sondeos cercanos al perímetro del Plan Parcial Aranda Central serán considerados para el análisis ya que geológicamente se realizaron dentro de la misma unidad y los datos pueden complementar la información de los materiales.

Sondeo	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	X	Y
--------	-----------------	--------------------	---	---

SM-3	15	0.5	978484,515	628731,679
SM-6	15	7.0	978341,639	629517,493
SM-7	15	5.0	979130,099	629488,389
S-3	3	S.N.F	978672,369	629334,930

Tabla 36. Localización de los sondeos realizados en el área de interés
(*S.N.F: Sin nivel freático)
Fuente: CIDETER 2017



Mapa 21 Sondeos realizados
Fuente: Adaptado CIDETER 2017

- Ensayos SPT

Los resultados de la evaluación de parámetros de resistencia a partir de las estimaciones por SPT se resumen en la Tabla 37, donde se evidencia una variación en el comportamiento de los depósitos piroclásticos (Qpc) el cual a mayor profundidad tiene un comportamiento similar a una roca blanda, los datos de cálculo de dichas estimaciones se presentan como Anexo 2. Ensayos SPT y laboratorios al presente informe.

El ensayo de penetración estándar se practicó con equipo mecánico y pesa de 140 lb, el número de golpes registrado en campo (N_{45}) fue normalizado con el objeto de tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada.

Nombre	UGI	c' (Kpa)	ϕ' (°)
Depósitos de piroclastos (Qpc-1)-Material Blando	Qpc-1	47.9	16.07
Depósitos de piroclastos (Qpc-2)- Material Duro	Qpc-2	121.1	15.68
Depósitos antrópicos (Qan)	Qan	24.4	16.24

Tabla 37. Estimación de parámetros de resistencia de materiales tipo suelo a partir de SPT
Fuente: CIDETER 2017

- Ensayos de laboratorio

Todas las muestras recuperadas de los sondeos realizadas en el año de 2017 en el área de influencia del Plan Parcial Aranda, se trasladaron a prueba de laboratorio con el objetivo de ejecutar un plan de ensayos tendiente a la caracterización mecánica y clasificación de los materiales encontrados en campo.

Sobre las muestras se realizó un total de trescientos sesenta y cinco (365) ensayos distribuidos como se indica en la Tabla 38.

Cantidad de Ensayos		
	Tipo de Ensayos	Total
Wn	Humedad natural	108
LL y LP	Límites de consistencia	75
GR	Granulometría	108
CD	Corte directo en suelo	6
qu	Compresión Inconfinada	3
γ	Peso Unitario	65
TOTAL		365

Tabla 38. Total de ensayos de laboratorio
Fuente: CIDETER 2017

En la Tabla 39 se presentan un resumen de los resultados de los ensayos de resistencia y densidad de los materiales presentes en la zona de estudio, correspondientes a ensayos de corte directo en suelos, compresión inconfinada en suelos y rocas y ensayos de peso unitario.

Sondeo	Muestra	Prof. (m)		Und Geol	Nombre / Descripción	qu (kPa)	Cu (kPa)	Corte directo Phi° c' (kPa)	
SM4	1	0.50	1.00	Qpc-1	Limo arenoso plástico de consistencia mediana. Color Naranja grisáceo.			25.30	49.70
SM4	2	2.00	2.50	Qpc-1	Limo arenoso plástico de consistencia mediana. Color grisáceo violeta.	65.20	32.60	22.74	67.50
SM5	1	0.50	1.00	Qpc-1	Limo arenoso plástico de consistencia mediana. Color marrón amarillento.			21.58	39.80
SM6	1	0.50	1.00	Qpc-1	Limo arenoso plástico de consistencia mediana. Color marrón fuerte.			19.89	64.80
SM6	2	1.00	1.50	Qpc-1	Limo arenoso plástico de consistencia mediana. Color marrón fuerte.	230.00	115.00	20.06	47.80
SM7	2	1.00	1.50	Qpc-1	Limo plástico de consistencia blanda. Color café oscuro.	100.0	50.0	23.4	41.0

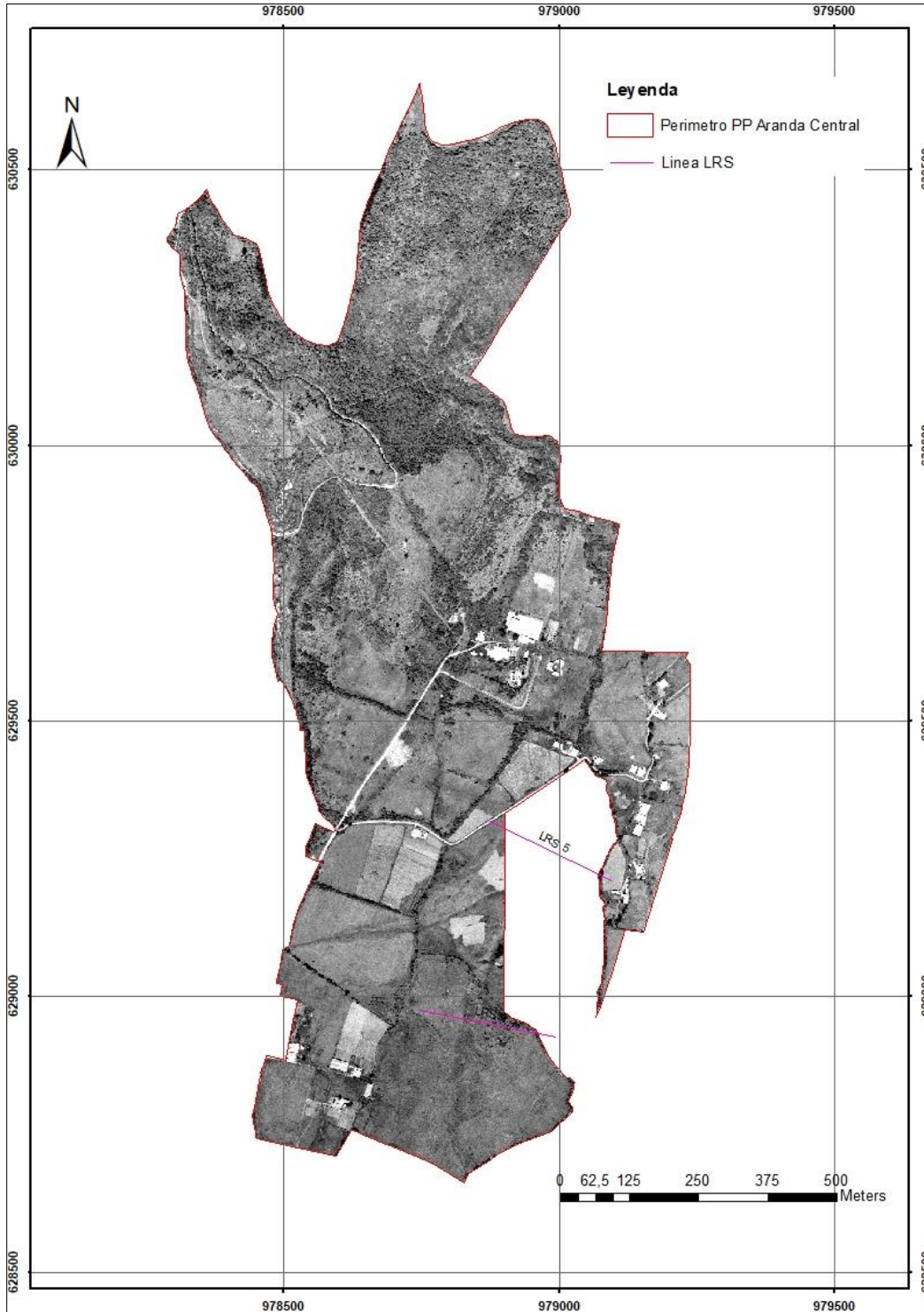
Tabla 39. Resultados de los ensayos de resistencia y densidad
(qu: Compresión inconfiada, Cu: Resistencia al corte)
Fuente: CIDETER 2017

2.2.1.4 Exploración de subsuelo por métodos indirectos

Complementando los sondeos realizados en la exploración directa, CIDETER realizó también cinco líneas de refracción sísmica como se muestra en la Tabla 40, donde se toma los datos LRS 4 y 5, puesto que estos perfiles se ubican en el área del presente estudio, ver Mapa 22.

LRS No.	Coordenadas iniciales		Coordenadas Finales		Longitud (m)	Sondeos de Calibración
	Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)		
LRS No. 1	1°14'18.9"	77°16'28.7"	1°14'25.8"	77°16'27.8"	213.75	SM-2
LRS No. 2	1°14'28.6"	77°16'24"	1°14'29.3"	77°16'15.9"	251.33	SM-4
LRS No. 3	1°14'16.3"	77°16'07.8"	1°14'14.4"	77°15'59.8"	243.06	S-2
LRS No. 4	1°14'27.1"	77°16'06.5"	1°14'25.5"	77°15'58.5"	254.11	S-2
LRS No. 5	1°14'38.3"	77°16'02.5"	1°14'34.7"	77°15'55.2"	251.31	S-3

Tabla 40. Localización de líneas de refracción sísmica
Fuente: CIDETER 2017



Mapa 22. Líneas LRS
Fuente: Adaptado CIDETER 2017

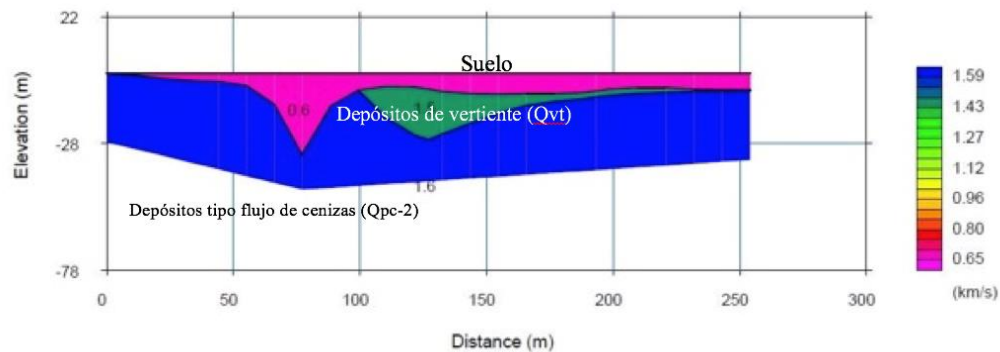
- Resultado de las refracciones sísmicas

Los valores de velocidad de onda P mediante la tomografía sísmica revelan que el espesor de material blando en superficie es bajo y predomina la presencia de material volcánico, que enmascara paleocanales y depósitos de flujo torrencial, pero que en la base posiblemente hay flujos de lavas.

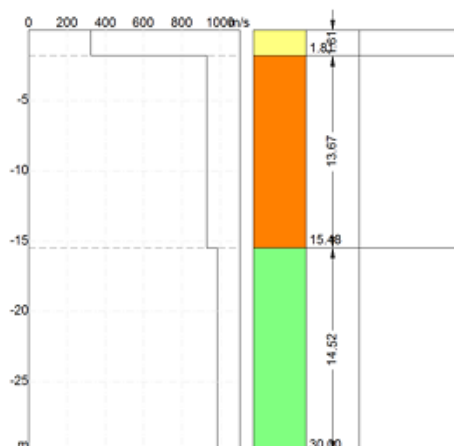
La velocidad de Onda S crece en función de la profundidad, presenta valores superiores a 1000 m / s en la línea LSR 1 desde los 12 m de profundidad, en la línea LSR 02 desde los 5 m aproximadamente, en la línea LSR 03 desde los 12 m aproximadamente, en la línea LSR 04 desde los 10 m aproximadamente, pero teniendo en cuenta la presencia de un paleocanal y una posible falla normal, la capa más consolidada se puede obtener después de los 28 m, y en la línea LSR 05 se observa la capa después de los 4 m; indicando que hay sitios que posiblemente se encuentre un lecho rocoso formado por lavas y en concordancia con los resultados de la sísmica de refracción.

En superficie, aunque se presenta una capa de materiales blandos no mayor a 5 m de profundidad, de acuerdo a los valores de velocidad de onda P y S que muestran valores bajos.

En la Figura 17 y Figura 18 con sus respectivas tablas se presentan los resultados del procesamiento del registro de las líneas sísmicas LRS 4 y LRS 5 realizadas, las cuales en general arrojan un modelo bi-capa, con velocidades de ondas de corte inferiores a los 1000 m/s para el suelo más profundo e inferiores a 350m/s para los suelos más superficiales.

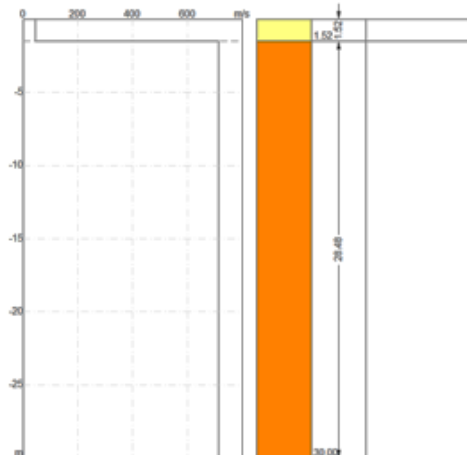
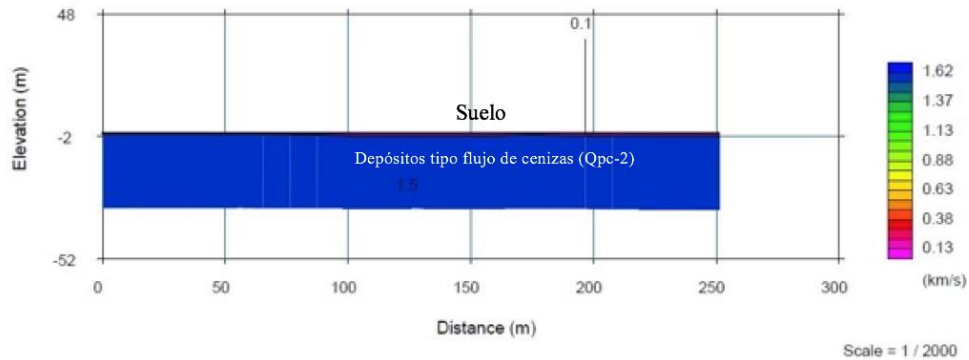


Scale = 1 / 2000



PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LÍNEA AP - 04										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poisson	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	600	346.4	1.81	0.25	7,200.0	468,000.0	1.30	390,000.00	15,907.57	Suelo
2	1,500	918.6	13.67	0.20	45,000.0	4,725,000.0	2.10	4,252,500.00	180,680.88	Depósitos de vertiente (Qvt)
3	1,600	979.8	>10	0.20	51,200.0	5,632,000.0	2.20	5,068,800.00	215,363.96	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)

Figura 17. Resultados Línea de Refracción Sísmica LRS-4
Fuente: CIDETER 2017



PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LÍNEA AP - 05										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poisson	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	100	57.7	1.52	0.25	200.0	15,000.0	1.50	12,500.00	509.86	Suelo
2	1,500	918.6	>10	0.20	45,000.0	5,625,000.0	2.50	5,062,500.00	215,096.29	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)

Figura 18. Resultados Línea de Refracción Sísmica LRS-5
Fuente: CIDETER 2017

2.2.1.5 Caracterización geomecánica de materiales

Para determinar la caracterización geomecánica de los materiales presentes en la zona del Plan Parcial Aranda Central, es conveniente diferenciar los materiales y analizar los resultados de los ensayos de laboratorio para cada uno de ellos. En la Tabla 41 se presentan los parámetros obtenidos a partir de correlaciones con LRS, con el ensayo SPT y de resultados de laboratorio.

NOMBRE	UGS	Propiedades correlacionadas LRS			Laboratorio			SPT	
		Módulo de Elasticidad Kg/m ²	Módulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m ²)	γ kN/m ³	c' Kpa	ϕ' (°)	c' Kpa	ϕ' (°)
Depósitos antrópicos (Qan)	Qan				18.95	-	-	24.4	16.24
Depósitos de piroclastos (Qcp-1)- Material Blando	Qcp-1	22,100	1,880,667	79,694	17.56	51.77	22.16	47.9	16.07
Depósitos de piroclastos (Qcp-2)- Material Duro	Qcp-2	43,720	4,828,135	206,680	18.48			121.1	15.68
Depósitos de vertiente (Qvt)	Qvt	45,000	4,252,500	180,681	-	-	-	-	-

Tabla 41. Características geomecánicas de materiales
Fuente: CIDETER 2017

Es de aclarar que para este estudio los nombres de los materiales y su nomenclatura fueron actualizados siguiendo las recomendaciones de la guía metodológica del Servicio Geológico 2016, sin que esto signifique que las propiedades geomecánicas cambien. En la Tabla 42 se presenta los nombres de los materiales como se observan en los estudios de CIDETER, 2017 y su equivalencia actualizada para este estudio según la información que se encuentra en las UGS y UGI del Capítulo de Componente Ambiental en el presente informe.

Estudio CIDETER, 2017		Este Estudio, 2023	
Nombre	Código	Nombre	Código
Depósitos antrópicos	Qan	Suelo antrópico de lleno mixto	Salm
Depósitos de piroclastos (Material Blando)	Qcp-1	Suelo transportado de caídas piroclásticas (Material Blando)	Stcp-1
Depósitos de piroclastos (Material Duro)	Qcp-2	Suelo transportado de caídas piroclásticas (Material Duro)	Stcp-2
Depósitos de vertiente	Qvt	Suelo transportado coluvial	Stco

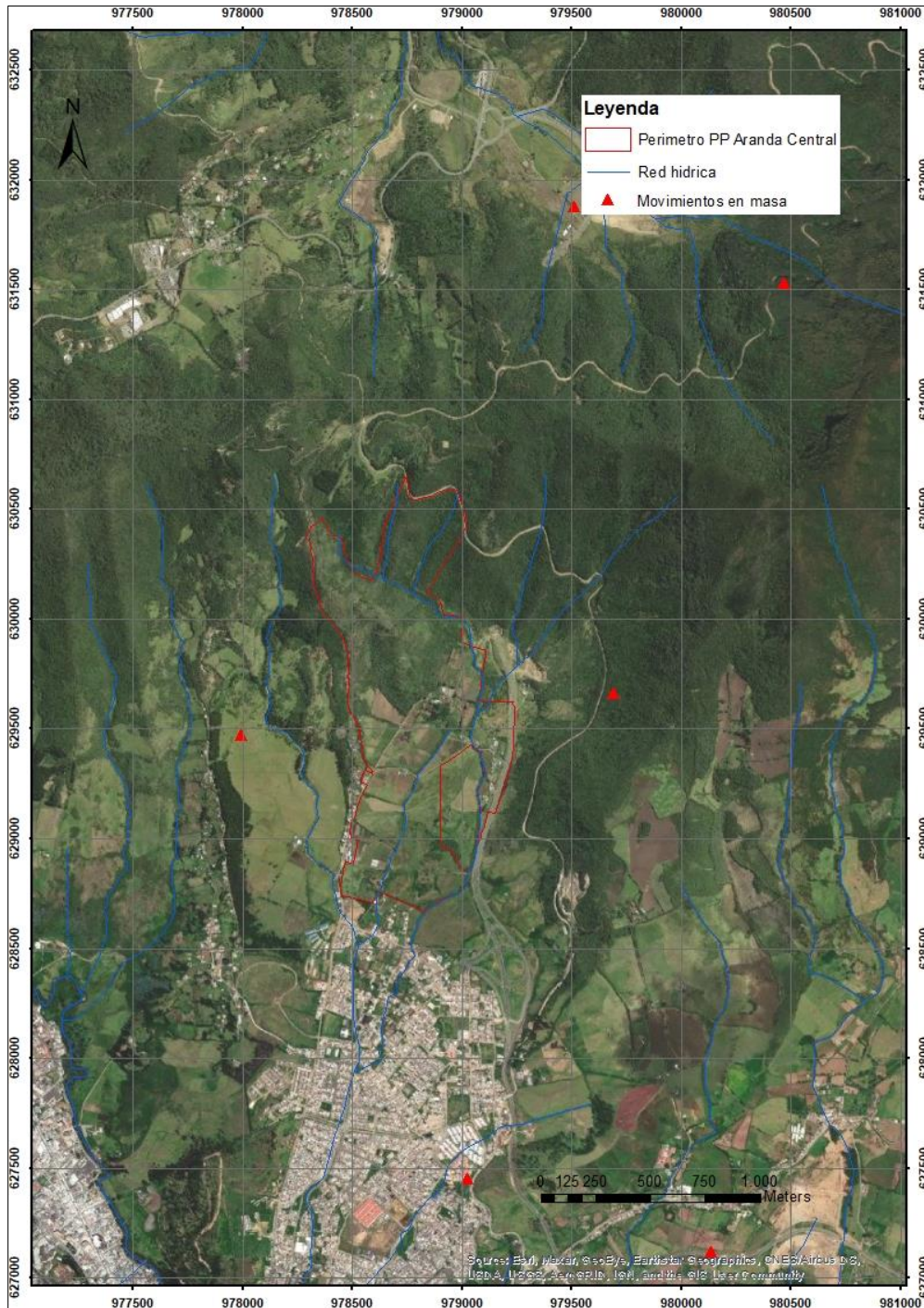
Tabla 42. Actualización nombre materiales
Fuente. Este estudio. SPM 2023

2.2.1.6 Análisis de la amenaza

Para el análisis de amenaza por movimientos en masa se estimaron aquellos elementos que intervienen en las modelaciones de los factores condicionantes con el fin de determinar la probabilidad de falla, el factor de seguridad crítico y la caracterización de la amenaza, mediante los métodos y criterios sugeridos en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (SGC,2016). En los modelos utilizados para el análisis de la ruptura del talud o mecanismo de falla se tuvo consideraciones como posición de nivel freático, tipo de material, pendiente del terreno y superficie de falla.

El cálculo del factor de seguridad se realizó para cuatro secciones que se consideraron de interés desde estudios anteriores, por su forma geométrica y factores condicionantes como lo es geología, geomorfología, la cobertura del suelo. Esta evaluación se realizó mediante el modelamiento geotécnico e implementación de software para la solución de elementos finitos; los datos utilizados para alimentar los modelos fueron obtenidos de la exploración en campo realizada.

Para desarrollar los estudios de amenaza se requiere, además, el inventario de movimientos en masa y un registro histórico o catálogo de estos en el área de interés, con el objetivo de identificar las características de los eventos, la distribución espacio-temporal y su relación con los factores detonantes. Por lo tanto, se realizó la consulta de este catálogo en el sistema de información de movimientos en masa – SIMMA, el cual no muestra eventos de esta naturaleza catalogados o inventariados dentro del área del proyecto, como se evidencia en la Mapa 23.



Mapa 23. Ubicación de movimiento en masa catálogo de SIMMA
Fuente: Adaptación SGC

Por lo anterior, se realiza un análisis de susceptibilidad con el fin establecer zonas sensibles a movimientos en masa dentro de los límites del Plan Parcial Aranda central. La base de este análisis son los factores condicionantes que permiten calcular la susceptibilidad por movimientos en masa por medio del método multivariado propuesto por Saaty en 1980 y de igual manera hacen parte de los elementos para determinar la amenaza por movimiento en masa como lo indica la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano 2016.

La metodología heurística por medio de análisis multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980), permite estudiar y analizar cada una de las diferentes variables que se consideran que influyen en la ocurrencia de un deslizamiento, y posteriormente se asigna un valor de ponderación a cada elemento que contienen dichas variables, esto de acuerdo al criterio del profesional considerando que influencia tiene cada uno en la posible ocurrencia de un deslizamiento.

Posteriormente se establece de manera subjetiva un valor para cada factor o elemento definido y se procede a realizar la suma lineal ponderada de valores para calcular el índice de susceptibilidad por movimientos en masa por medio de la siguiente ecuación:

$$IS = \sum_{i=1}^n (W_i \times R_i)$$

Donde:

IS = Índice de Susceptibilidad

W_i = Peso del Factor

R_i = Peso de la clase

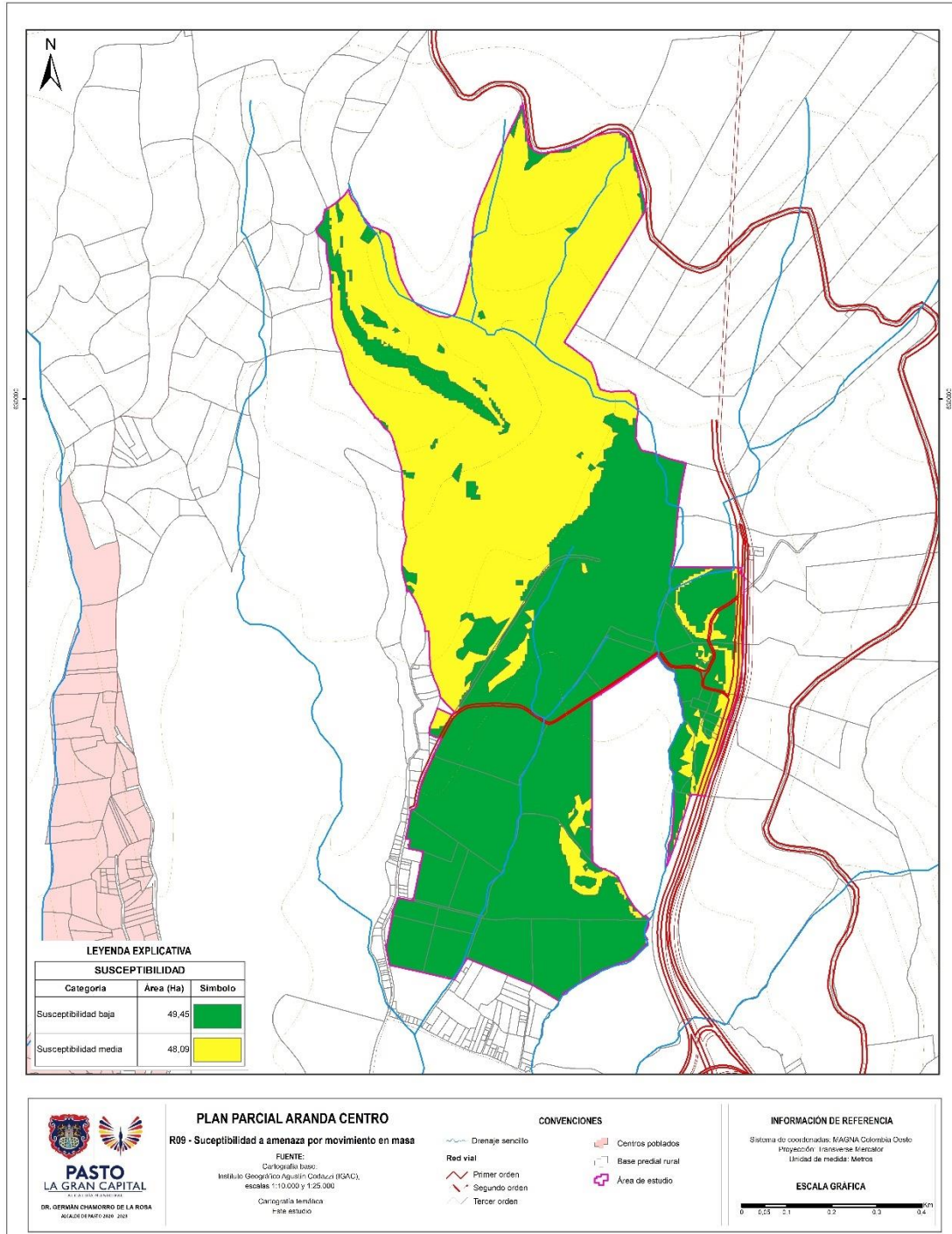
Una vez identificados los factores se hace uso de herramientas de SIG como la "superposición ponderada", que permite estimar la susceptibilidad, para ello se convierte cada capa en formato RASTER y se procede hacer la suma de los factores lo cuales a su vez se multiplican por el peso asignado a cada uno. De acuerdo con lo anterior los diferentes factores considerados para el cálculo de susceptibilidad se describen posteriormente.

La evaluación multicriterio se desarrolló considerando las variables de pendiente, cobertura de suelo, unidades geológicas para ingeniería UGI y elementos geomorfológicos EGMF, en una escala de detalle 1:5000. En la Tabla 43 se presenta cada variable con su valor de influencia en el análisis y el valor o peso de ponderación de cada elemento para la realización del mapa de susceptibilidad.

Variable		Descripción	Influencia	Ponderación
Pendiente	>45	Muy escarpada	30	5
	30 - 45	Escarpada		5
	20 - 30	Muy abrupta		10
	5 - 10	Inclinada		25
	<5	Plana o suavemente inclinada		30
	10 - 15	Muy inclinada		20
	15 - 20	Abrupta		15
Cobertura		Tejido urbano discontinuo	15	10
		Pastos limpios		15
		Mosaico de cultivos		10
		Bosque de galería y ripario		15
		Herbazal denso		10
		Bosque fragmentado		15
		Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		5
		Tejido urbano continuo		5
UGI	Stco	Suelo transportado coluvial	30	20
	Salm	Suelo antrópico de lleno mixto		20
	Rcifl	Roca de calidad intermedia de flujos de lava		25
	Stcp	Suelo transportado de caídas piroclásticas		30
EGMF	Ddc	Depósito Coluvial	25	15
	Dcfl	Cima de flujos de lavas		20
	Dlmacp	Ladera muy abrupta de caídas piroclásticas		5
	Dlefl	Ladera escarpada de flujos de lavas		10
	Ase	Superficies de explanación		15
	Dlicp	Ladera inclinada de caídas piroclásticas		20
	Dlsicp	Ladera suavemente inclinada de piroclastos		25

Tabla 43. Ponderación de variables en análisis de susceptibilidad
Fuente. Este estudio. SPM 2023

Finalmente con la superposición ponderada se obtiene el mapa de susceptibilidad por movimiento en masa, en el Mapa 24 se presenta su espacialización, donde se observa nivel de susceptibilidad con tendencia media y baja principalmente en el área de estudio.



Mapa 24. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa
Fuente: Este estudio. SPM 2023

2.2.1.6.1 Factores detonantes

Los factores lluvia y sismo, como determinantes de la localización de la superficie libre del agua subsuperficial y de las cargas externas debidas a un sismo respectivamente, tienen clara incidencia en la inestabilidad de las laderas, como factores que pueden desencadenar o detonar movimientos en masa, toda vez que imponen cambios en los estados de esfuerzos de las masas de suelo y roca que pueden alcanzar estados críticos y la falla de los taludes.

Los métodos que tienen como base el cálculo de la probabilidad anual de falla, como es el caso que nos ocupa, requieren considerar la temporalidad de estos factores, la cual puede expresarse en términos del período de retorno (T_r). Los escenarios de factores detonantes, hacen referencia a posibles combinaciones de estos. A continuación, se describe la evaluación de cada uno de estos factores.

- Lluvia

Los deslizamientos profundos se generan en la mayoría de los casos por incrementos en las presiones de poros del suelo a causa del incremento de la altura del nivel freático. Este tipo de deslizamientos ocurren generalmente con periodos de lluvia de gran duración, contrario a los deslizamientos superficiales. Por lo tanto, es necesario relacionar la variación del nivel freático con la variabilidad de la lluvia acumulada para largos periodos.

En el factor detonante lluvia, la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) representa la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los de una misma curva, a un idéntico periodo de retorno (Chow et al, 1994). En este sentido, la Figura 19 muestra el comportamiento de la curva IDF de la estación Obonuco para diferentes periodos de retorno en la ciudad de Pasto, que es la información considerada para el área de estudio.

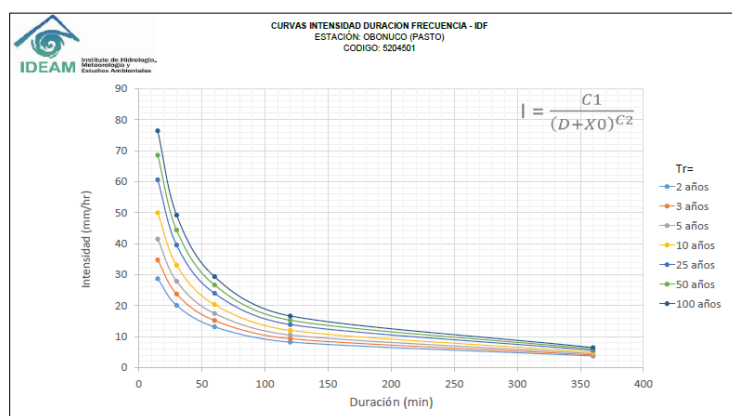


Figura 19. Curvas intensidad duración frecuencia IDF.
Fuente: IDEAM 2017

- Sismo

Los sismos, como generadores de fuerzas y aceleraciones en zonas de la corteza terrestre, producen en muy corto tiempo, cambios en los estados de esfuerzos iniciales de las masas de suelo y roca, los cuales, según su magnitud, pueden detonar movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas, volcamiento, entre otros), que en muchos casos derivan en

procesos de inestabilidad subsecuentes. Colombia, localizada en una zona de interacción entre las placas de Nazca, Cocos y Sur América, asociada con una continua actividad tectónica, que induce fracturamiento intenso a las formaciones rocosas, se caracteriza por presentar una actividad sísmica importante

El análisis de estabilidad de taludes sigue un enfoque determinístico, para lo cual es necesario incluir el efecto de la carga sísmica como una fuerza inercial horizontal mediante un análisis en condición pseudoestático, a partir del coeficiente de aceleración horizontal. Entonces, a partir de la curva de amenaza sísmica para la ciudad de Pasto que se encuentra en el Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia (SGC,2020), se puede determinar la aceleración horizontal para periodos de retorno de 31, 225 y 475 años, ver Figura 20.

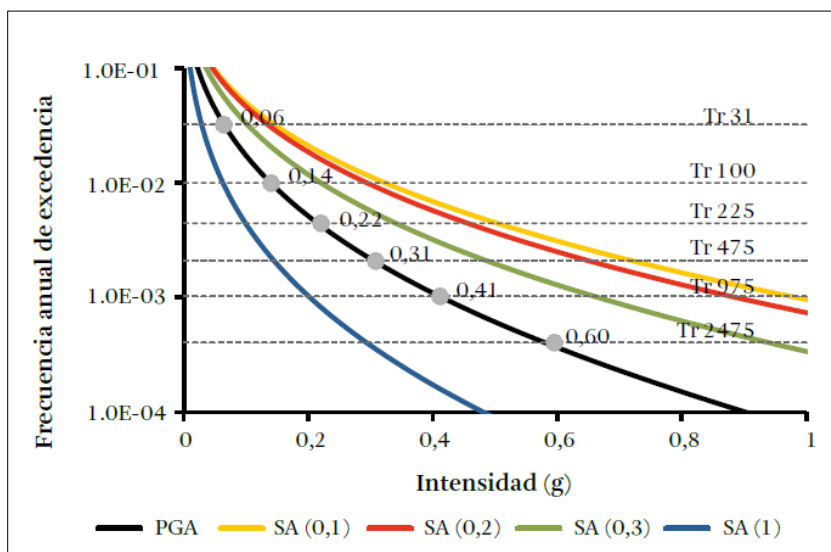


Figura 20. Curvas de amenaza uniforme sísmica para Pasto.
Fuente: SGC 2020

Con el objetivo de establecer los efectos que han tenido los sismos históricos registrados sobre la población, se realizó la consulta en el sistema de información de sismicidad histórica de Colombia – SISHC, para el área de interés se encontraron los siguientes registros de sismos históricos, ver Figura 21.

Intensidades registradas en San Juan de Pasto, Nariño

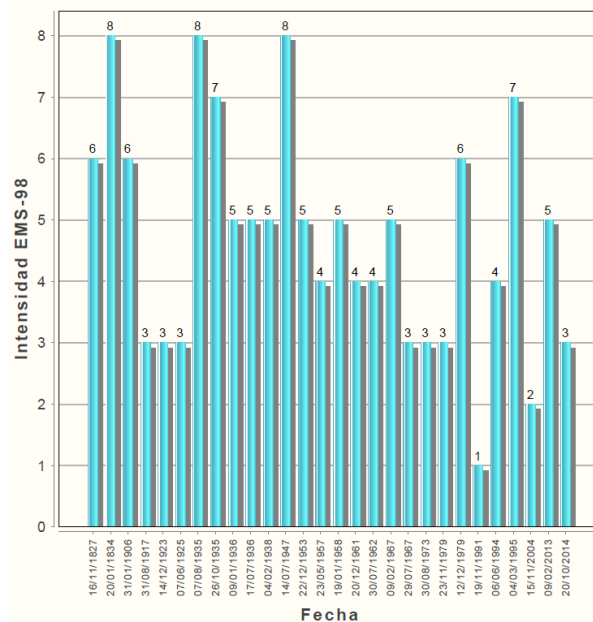


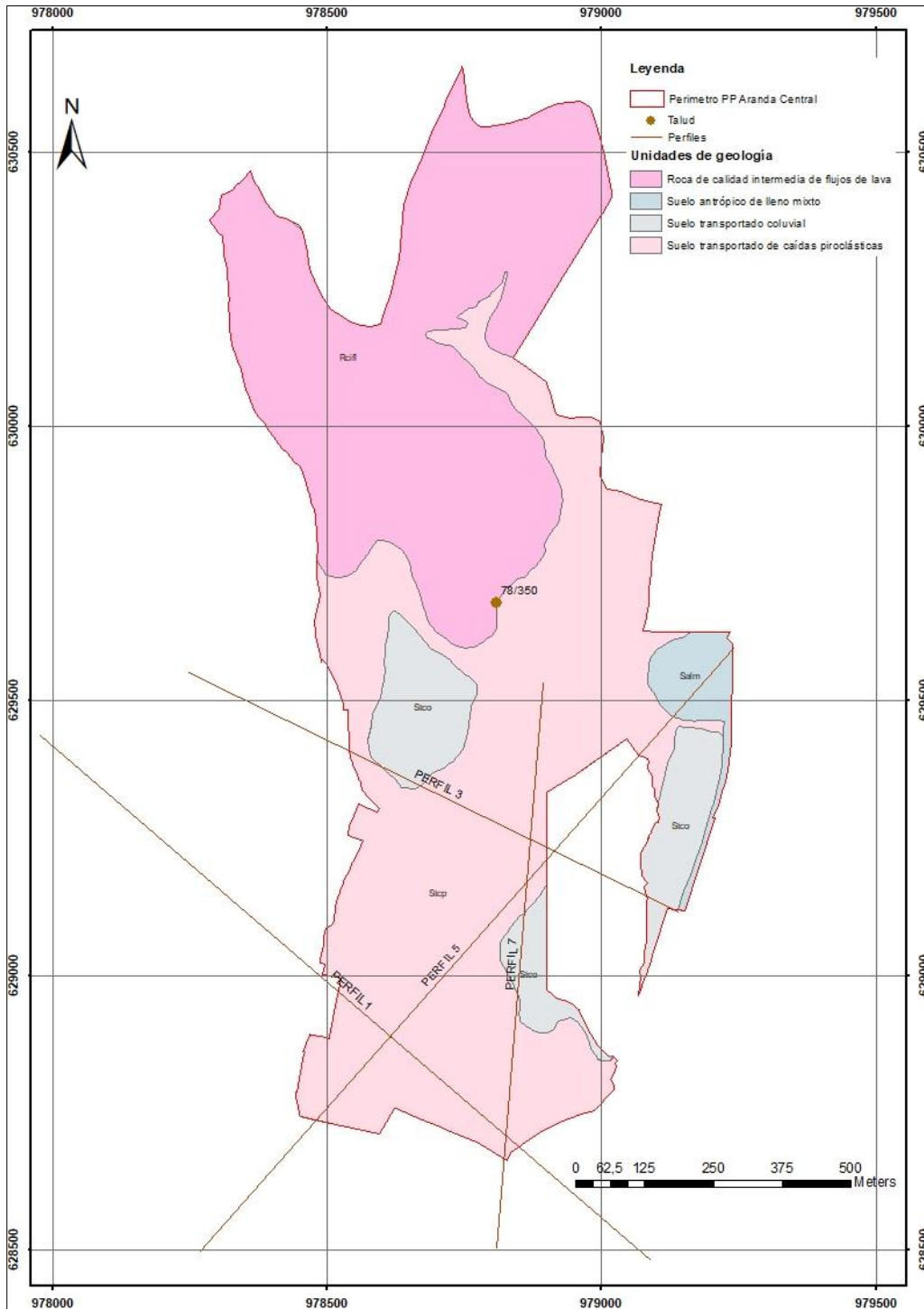
Figura 21. Registro histórico de sismos - Pasto.
Fuente: SISHC-SGC

2.2.1.7 Zonificación de la amenaza

Los análisis para la zonificación de la amenaza están basados en la teoría de equilibrio límite, tomando como punto de partida, la caracterización de los diferentes estratos encontrados en los estudios de exploración y el mapa de susceptibilidad por movimiento en masa.

Con la definición del modelo geológico-geotécnico se incluye la consideración de los factores condicionantes de inestabilidad prevalentes en el área de estudio, estos configuran la predisposición del terreno a la inestabilidad y están directamente relacionados con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las laderas, considerándose inherentes al área de estudio. Para determinar algunas condiciones intrínsecas en la estabilidad del terreno resulta conveniente identificar unidades geotécnicamente homogéneas, con el fin de plantear un modelo que involucre las características geológicas, geomorfológicas y los parámetros geotécnicos

Los insumos para esta zonificación fueron tomados de Plan Parcial Aranda (CIDETER, 2017), como la información de la exploración indirecta por métodos geofísicos desarrollado por los mismos, igualmente se adaptaron los perfiles geológicos-geotécnicos que se elaboraron dentro del área en este caso Perfil 1, Perfil 3, Perfil 5 y Perfil 7, al igual que los datos estructurales para el análisis de talud (punto denominado talud 78/350), también algunos otros parámetros que se requieren para el presente análisis y algunos datos levantados en campo que se hicieron en el desarrollo de este estudio.



Mapa 25. Ubicación de los perfiles y talud analizados
 Fuente: Adaptación CIDETER, 2017

En la determinación de la amenaza es necesario incluir un análisis de estabilidad considerando los efectos debido a la sobrecarga actuante en la zona de estudio determinando cabeza de presión para cada escenario, la aceleración, la probabilidad de falla para cada escenario y la probabilidad de falla total.

Estos análisis de probabilidad de falla se realizaron con la aplicación del software Slide versión 6.0 de Rocscience, el cual utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener factores de seguridad en condiciones estáticas y en condiciones pseudoestáticas. En este caso del Plan Parcial Aranda Central se utilizó un análisis estadístico de Monte-Carlo y el método de equilibrio límite de Morgenstern-Price, el cual en condición pseudoestática se adapta a cualquier superficie de falla, basándose en el método de dovelas abordando el problema de forma bidimensional, así mismo, el sistema de parámetros de resistencia de Mohr-Coulomb para los datos obtenidos en los ensayos de Corte Directo para suelos.

En general, el método de dovelas considera que el factor de seguridad asociado a un determinado talud, es constante para toda la superficie de falla, la resistencia al corte del suelo estudiado satisface el criterio de Mohr-Coulomb y al momento de la falla la resistencia al corte del suelo se desarrolla con una magnitud constante en toda la superficie de rotura.

Para las condiciones pseudoestática, el efecto de la fuerza inercial sísmica en los análisis se incluye como una aceleración horizontal para diferentes periodos de retorno (31 años, 225 años y 475 años) estos periodos de retorno con base en la probabilidad de excedencia y teniendo en cuenta una vida útil de diseño de 50 años; la determinación de esta aceleración en diferentes periodos de retornos se realiza a partir de las curvas de amenaza sísmica realizadas para la ciudad de Pasto.

En el análisis de macizo rocoso se utilizó el software Dips versión 6.0 de Rocscience con el fin de determinar la probabilidad de falla por diferentes mecanismos ya sea falla tipo planar, falla en cuña o por vuelco. Este análisis se realizó con los datos estructurales levantados en campo principalmente de las familias de diaclasas que se encuentran en el talud (punto 78/350).

2.2.1.7.1 Análisis de la estabilidad

De acuerdo a lo explicado en el aparte anterior, los criterios geotécnicos adoptados para el análisis usado en el programa de modelamiento geotécnico fue el método de Morgenstern-Price para calcular el equilibrio límite de fuerzas y el de Mohr-Coulomb como modelo de resistencia para la ruptura del suelo, tomando como punto de partida el modelo geológico-geotécnico de algunos sectores del área de interés, diferenciando en cada perfil los estratos hallados en los estudios y que se pueden considerar como críticos ante la presencia de movimientos en masa.

Para cada uno de los modelos geológico-geotécnico se usó los parámetros de resistencia de cada estrato hallados en laboratorio, se realizó en condiciones estáticas y pseudoestáticas estableciendo diferentes escenarios en los cuales se puede producir falla. En la Figura 22 y Figura 23 se indica cada uno de estos escenarios para cada perfil; en la Figura 24 se muestra el análisis de estabilidad de roca por diferentes mecanismos para el talud hallado.

Estos modelos se encuentran en los documentos Anexo 3. Análisis de estabilidad de suelo y Anexo 4. Análisis cinemático de roca de este informe, donde se puede observar los resultados obtenidos de cada modelo realizado.

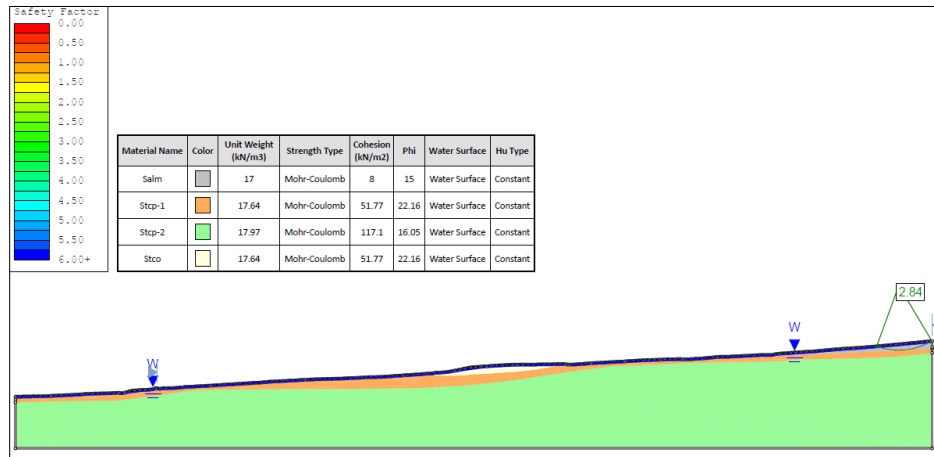


Figura 22. Análisis estático en condición normal para el perfil 7.
Fuente: Este estudio. SPM 2023

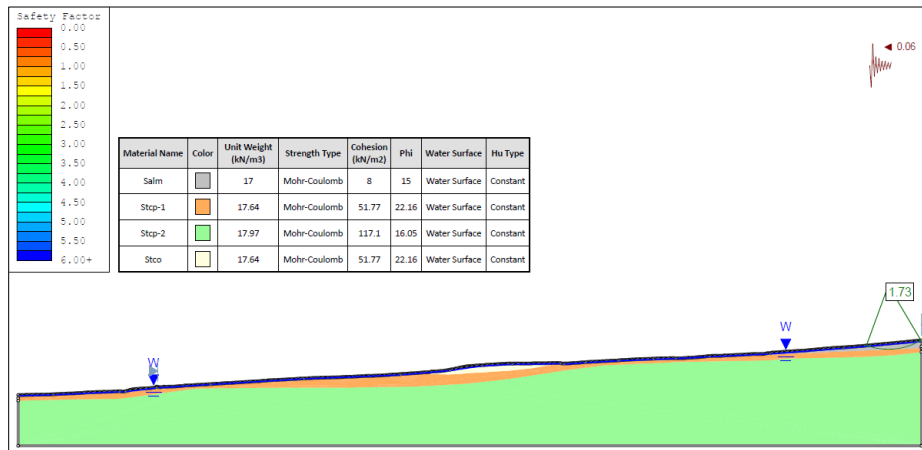


Figura 23. Análisis pseudoestático en condición extrema para el perfil 7 con un Tr de 31 años ($ac = 0.06 \text{ m/s}^2$).

Fuente: Este estudio. SPM 2023

En cada uno de los modelos anteriores es posible evidenciar factores de seguridad de categoría baja para la amenaza, en el análisis estático se observa un $FS = 2.84$ en condiciones de saturación por presencia de nivel freático, por lo tanto no se tiene probabilidad de movimiento en masa. Lo mismo se puede concluir en el análisis pseudoestático donde se tiene un $FS = 1.73$ con una aceleración horizontal de 0.06 m/s^2 en un periodo de retorno de 31 años, este factor de seguridad indica una probabilidad baja de movimiento en masa con estos parámetros.

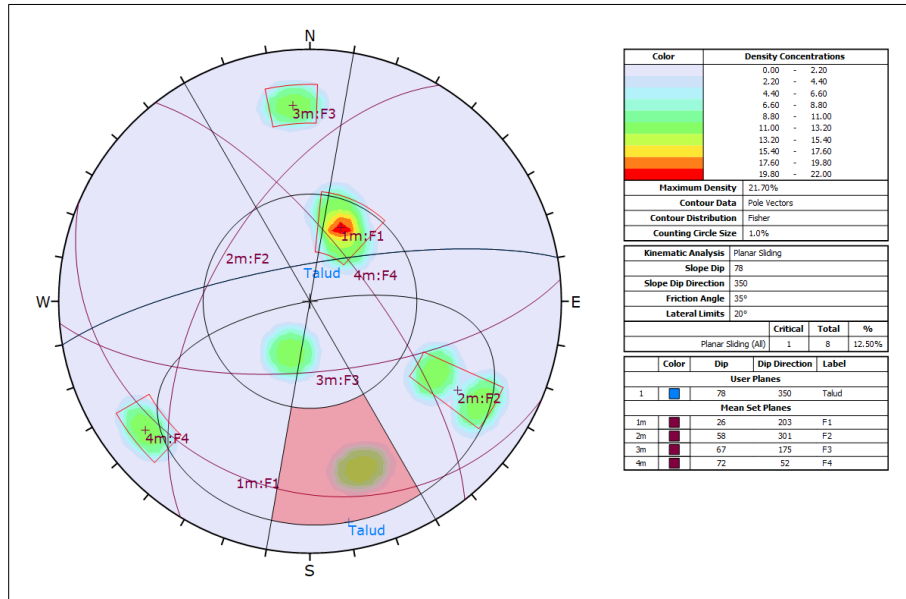


Figura 24. Análisis cinemático de roca para falla planar, probabilidad 12%.
Fuente: Este estudio. SPM 2023

El modelo anterior de la Figura 24 describe el análisis en la leyenda para el talud 78/350, donde se evidencia que solo 1 polo de los 8 quedó dentro del área de riesgo lo que quiere decir una probabilidad de falla del 12% la cual se considera baja para este caso.

2.2.1.7.2 Caracterización de la amenaza

La clasificación de la amenaza por movimientos en masa se define para suelos a partir del factor de seguridad, estableciendo tres niveles de amenaza clasificados como alto, medio y bajo como se describe en la Tabla 44, dicha clasificación es la utilizada en el Mapa 26 de zonificación de amenaza por movimiento en masa que se definió para el caso del Plan parcial Aranda Central.

Para aquellas zonas que quedan clasificadas como de amenaza alta se desarrollaran los análisis detallados de amenaza por movimiento en masa en escala 1:2000.

Categoría	Factor seguridad	Color
Alta	<1.1	Rojo
Media	1.1 – 1.5	Amarillo
Baja	>1.5	Verde

Tabla 44. Clasificación de la amenaza
Fuente: Adaptado de SGC 2016

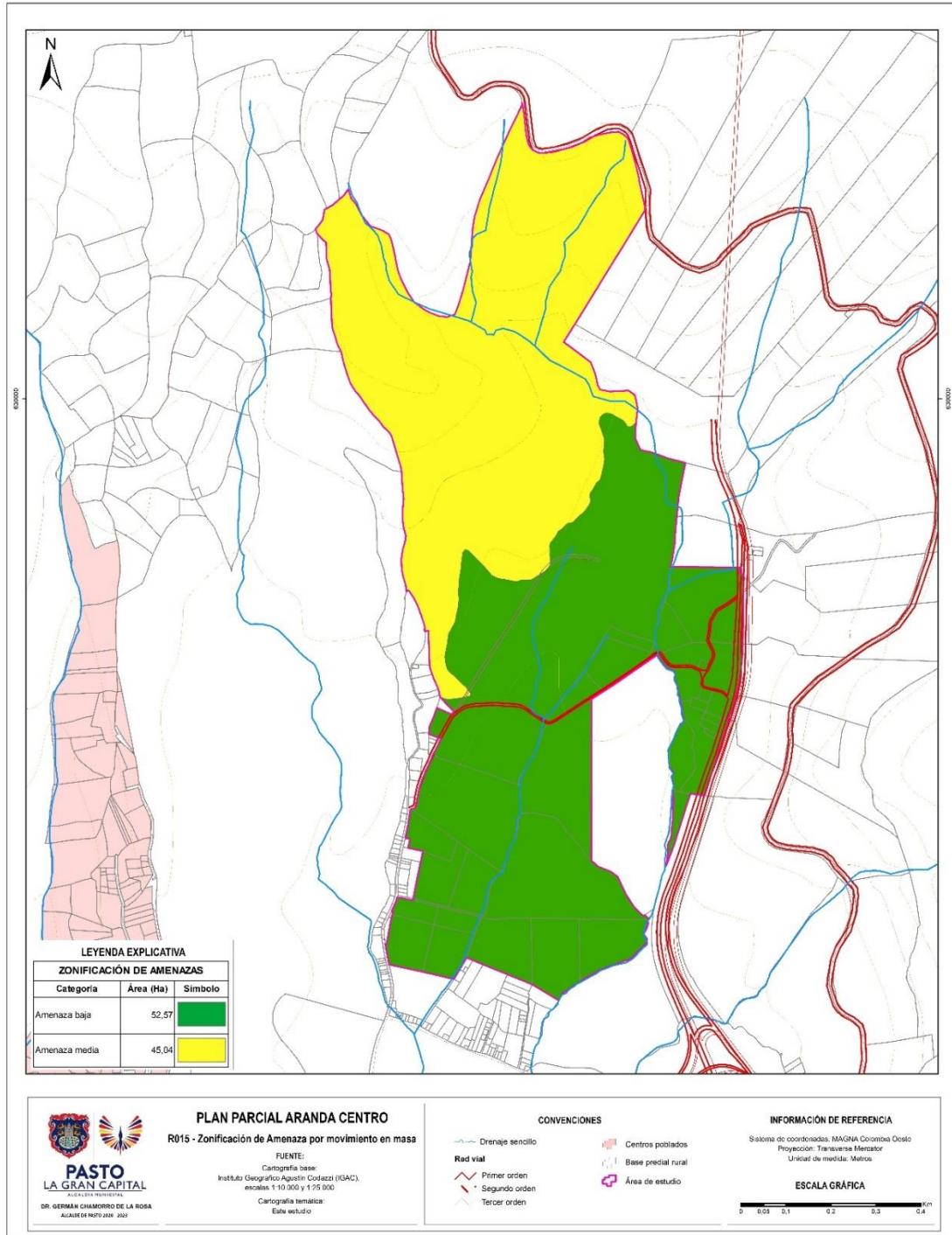
Cada una de estas categorías presenta las siguientes características descritas a continuación:

Alta: Pertenecen a esta categoría áreas inestables en las que no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes para la

comunidad, además su recuperación es muy compleja o demasiado costosa. Se deben destinar a zonas verdes, reforestación o tratamientos espaciales a largo plazo.

Media: Son áreas consideradas geológicamente como "relativamente inestables" en las cuales para adelantar la construcción de obras es necesario exigir previamente la realización de estudios, donde se presenten los respectivos diseños de las medidas de mitigación y costos. Esto con el fin de garantizar su estabilidad a las condiciones para el manejo del terreno, orientados a conservar su estabilidad natural.

Baja: Son terrenos geológicamente estables donde las amenazas por movimientos en masa son mínimas o no existen.



Mapa 26. Mapa zonificación de amenaza por movimientos en masa
Fuente. Este estudio. SPM 2023

Considerando los factores de seguridad, según el análisis de estabilidad para los modelos realizados y tomando en cuenta todos los parámetros, se definió el mapa de zonificación de amenaza que se puede ver en el Mapa 26. Mapa zonificación de amenaza por movimientos en masa, donde es posible determinar una probabilidad baja por movimiento en masa para la zona sur del Plan Parcial Aranda Central y para la zona de influencia de la Reserva Janacatú (zona norte del área) se observa una probabilidad media por movimiento en masa, aunque en los modelos de estabilidad los resultados son bajos para probabilidad de falla, se consideró media asociado a la pendiente alta de la ladera.

Cabe destacar que esta probabilidad media de amenaza no influye en el proyecto tomando en cuenta factores como que al tratarse de una reserva se encuentra protegida y por lo tanto no se desarrollará proyectos de infraestructura dentro de esa área, la cantidad de material que se genere por la caída sería de un volumen bajo que no viajaría mucha distancia desde su origen.

Igualmente se puede realizar evaluación algunas medidas de intervención con el objeto de contrarrestar la posibilidad de caída de material, con estas medidas de mitigación se buscaría minimizar por fenómeno de avenida torrencial que es la manera en que este material puede afectar el área.

2.2.1.8 Análisis de la vulnerabilidad

Las áreas objeto del análisis de vulnerabilidad se evaluarán de forma cuantitativa por la escala de trabajo y corresponden a las áreas ocupadas que se identificaron en la categoría de amenaza alta en la evaluación de amenaza detallada a escala 1:2000, de acuerdo con el procedimiento general para análisis de vulnerabilidad por movimientos en masa SGC (2016); para cada zona de estudio, en ellas se definieron los escenarios de amenaza y exposición de los elementos (bienes físicos y personas), con su respectiva caracterización que incluye su grado de fragilidad ante el evento amenazante.

La zonificación de vulnerabilidad se realiza a partir de las categorías de vulnerabilidad física con base en los niveles de daño de las edificaciones, sin embargo esta metodología es aplicable en las zonas sin ocupar o proyectados para expansión planteando los escenarios futuros de ocupación o de cambio de uso como se propone en el Plan Parcial Aranda Central

De acuerdo con el procedimiento general, a continuación, se relacionan las etapas que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad:

- Identificación y localización de los elementos expuestos.
- Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia.
- Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad.
- Zonificación de la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad para esta escala de trabajo se calcula de forma cuantitativa, definiendo los posibles escenarios por movimiento en masa esperados, estos escenarios incluyen exposición de elementos y grado de fragilidad.

Aun cuando no se determinó amenaza alta por movimientos en masa en el área del Plan Parcial Aranda Central, se realiza una evaluación de vulnerabilidad planteando los futuros escenarios de ocupación que se efectuaran con el proyecto.

2.2.1.8.1 Identificación y localización de elementos expuesto

Los elementos expuestos incluyen bienes físicos y personas, los cuales pueden ser afectados al materializarse una amenaza según su localización, con base en la Tabla 45 se realiza la identificación de los elementos expuestos

Clasificación	Identificación	Uso -Componentes
Bienes físicos	Indispensables- Grupo IV (Norma NSR-10)	Salud (Pública/Privada)
	Atención a la comunidad- Grupo III (Norma NSR-10)	Seguridad Emergencia Educación Institucionales
	Ocupación especial – Grupo II (Norma NSR-10)	Gubernamentales Centros comerciales Industria
	Ocupación normal- Grupo I (Norma NSR-10)	Residencial
Líneas Vitales	Red vial	Vías Puentes vehiculares Puentes peatonales
	Servicios públicos	Líneas de acueducto alcantarillado y gas (Tuberías) Redes eléctricas y comunicaciones
	Personas	Población

Tabla 45. Elementos expuestos
Fuente. Adaptado de SGC 2016

En el Plan Parcial Aranda Central se plantean diferentes áreas donde se incluye adelantar infraestructura de plan vial, comercio, parques, infraestructura de espacio público y equipamientos públicos, así mismo se excluye el área perteneciente a la Reserva Natural Janacatú ubicada en el sector norte del área delimitada debido a su naturaleza de suelo de protección.

Las tipologías de las edificaciones, definidas a partir de los trabajos de Heinimann (1999) y Jam (2007), se identifican como Ocupación Normal (Grupo I) y Ocupación Especial (Grupo II) y se establecen como edificaciones reforzadas (B) que son edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc.

2.2.1.8.2 Exposición

La vulnerabilidad física se refiere a la interacción de los movimientos en masa con los elementos expuestos. En bienes físicos, la respuesta de los elementos expuestos y la intensidad de la fuerza que pueda afectar a un elemento dependen de las características del elemento (tipología, calidad, estado, mantenimiento, etc.) y su posición relativa con respecto al área afectada por el evento (exposición).

La evaluación de la exposición se realiza de acuerdo con las 4 zonas definidas en la Figura 25 y su descripción en la Tabla 46.

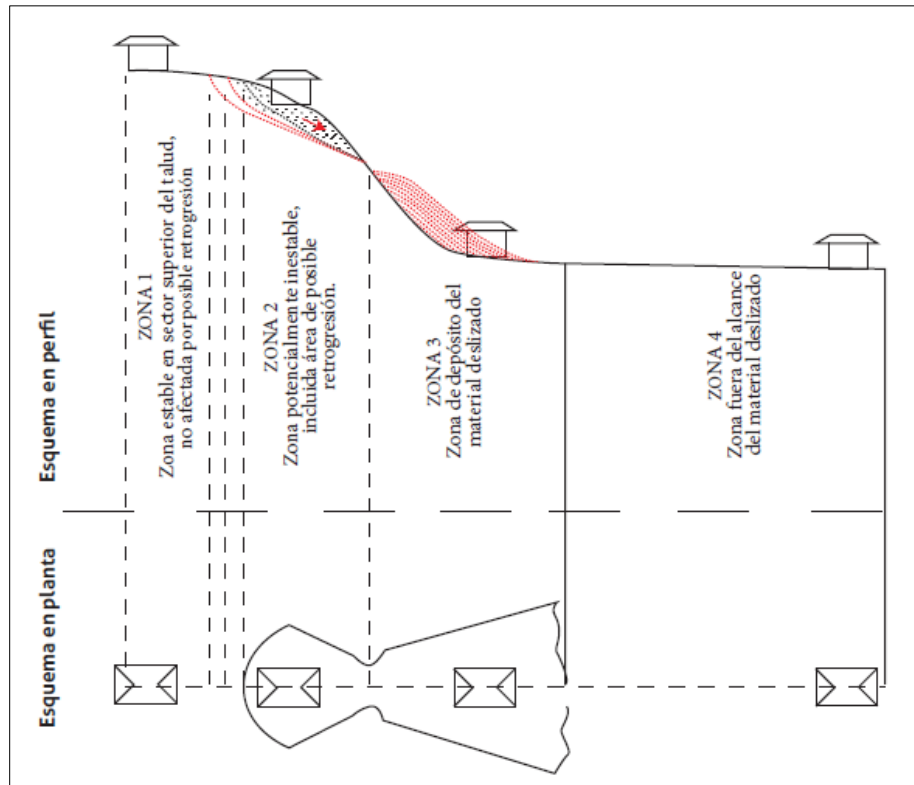


Figura 25. Zonificación de la amenaza por movimiento en masa.
 Fuente. SGC 2016

Zona	Descripción	Daños esperados	Criterio de intensidad
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.	
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del deslizamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños debidos a los movimientos en masa.	

Tabla 46. Zonas de exposición
Fuente. SGC 2016

Para el Plan Parcial Aranda Central se establece que los elementos expuestos se ubican en la zona 4 de la evaluación de exposición, indicando que están fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito, por lo tanto no se esperan daños en las estructuras. También se indica que para la zona alta del área que pertenece a la reserva Janacatú, como no existe proyectos de construcción, no hay en este caso elementos expuestos.

2.2.1.8.3 Fragilidad

La respuesta de los elementos expuestos frente a las sollicitaciones generadas por los movimientos en masa depende de las características del elemento, y en personas de la capacidad de respuesta y la posición relativa con respecto al área afectada.

Al hacer esta evaluación para el proyecto del plan parcial, se demuestra una fragilidad baja, tomando en cuenta que los factores propuestos por el SGC (2016) indican que la fragilidad en edificaciones es muy baja por tratarse de edificaciones nuevas al igual que la fragilidad de líneas vitales. Para personas se evalúa en función de la fragilidad de edificaciones de acuerdo a esto, el grado de fragilidad en personas también es bajo.

2.2.1.9 Categorización de la vulnerabilidad

Asumiendo que la vulnerabilidad es función de la fragilidad de las estructuras y de la intensidad del elemento amenazante, la vulnerabilidad se calcula mediante las ecuaciones:

$$V=1/2(I/1-S)^2 \quad \text{si } I \leq 1-S$$

$$V=1-(1/2(1-I/1-S))^2 \quad \text{si } I > 1-S$$

Donde:

V: Vulnerabilidad de los elementos expuestos a amenaza

S: Fragilidad del elemento expuesto

I: Intensidad del evento

Para estructuras, un valor de vulnerabilidad igual a 1 significa destrucción completa, valores menores que uno indican un grado de daño y 0 significa que la edificación no presenta ningún daño, para su clasificación en mapa se puede usar la Tabla 47. En personas, 1 significa la pérdida de vida y valores menores que uno significan la probabilidad de pérdida de vida, la clasificación se muestra en la Tabla 48.

Clasificación de la vulnerabilidad	Valor de la vulnerabilidad	Nivel de daño	de Edificaciones	Red vial
Alta	0.5 - 1	Total colapso	- Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.	Bloqueo total de la vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos.
Media	0.1 - 0.5	Grave	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales. Daños en los muros. Daño grave de acabados.	Parte del volumen deslizado reposa sobre la vía. Los vehículos pasan con dificultad.
Baja	0.02 - 0.1	Moderado	Grietas grandes y profundas. Daños graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos.	No existe material sobre la vía o el material que alcanzó la vía es fácilmente evadible por los vehículos
	0.00 - 0.02	Leve	Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.	

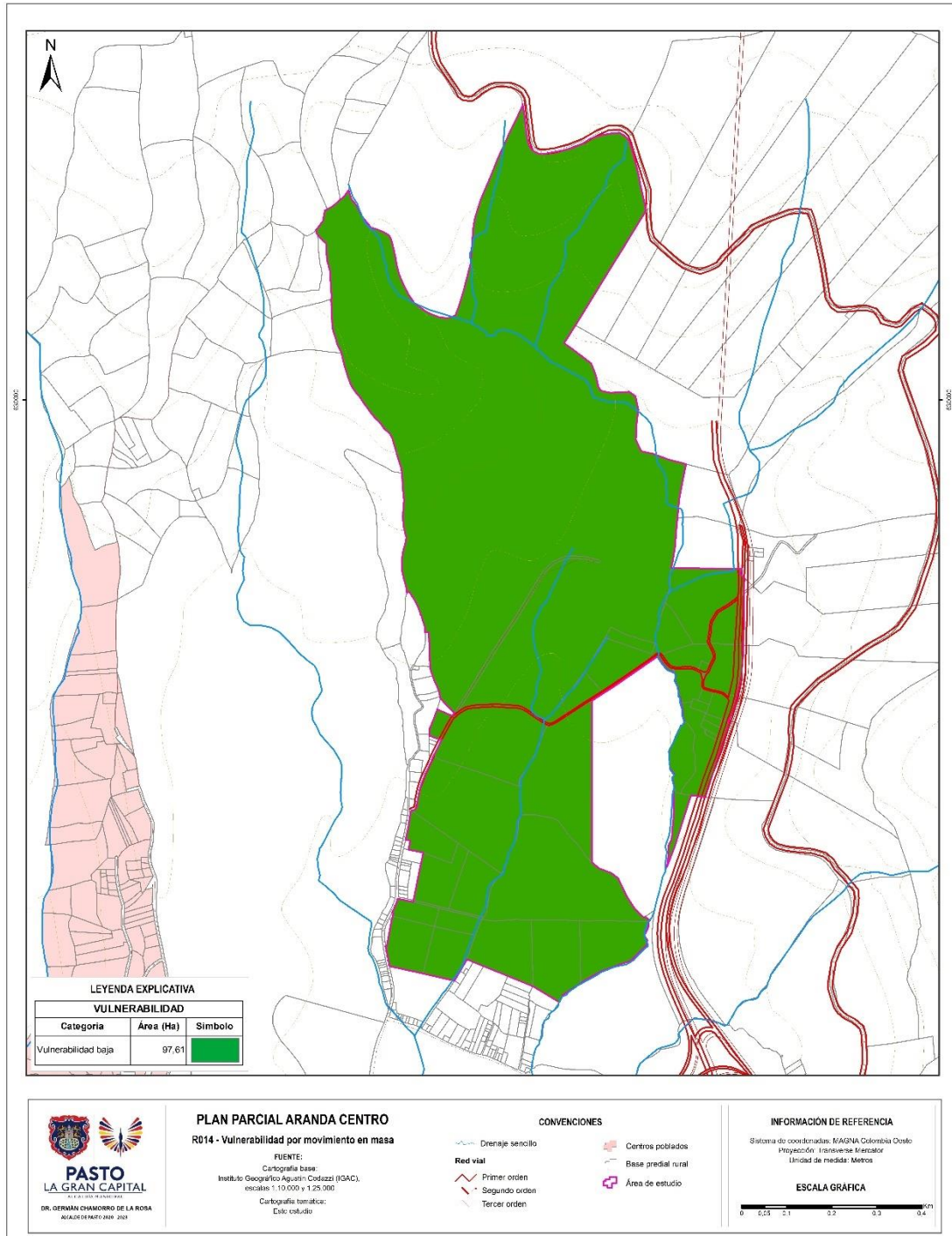
Tabla 47. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales
Fuente. SGC 2016

Clasificación	Rango vulnerabilidad	Descripción
Alta	0.5 - 1	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
Media	0.2 – 0.5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
Baja	0 – 0.2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Tabla 48. Clasificación de la vulnerabilidad para personas
Fuente. SGC 2016

La categorización de la vulnerabilidad para el Plan Parcial Aranda Central a partir de la identificación y localización de elementos expuestos se puede clasificar como baja con un valor de 0.0, por consiguiente, no se espera algún nivel de daño en las edificaciones y las

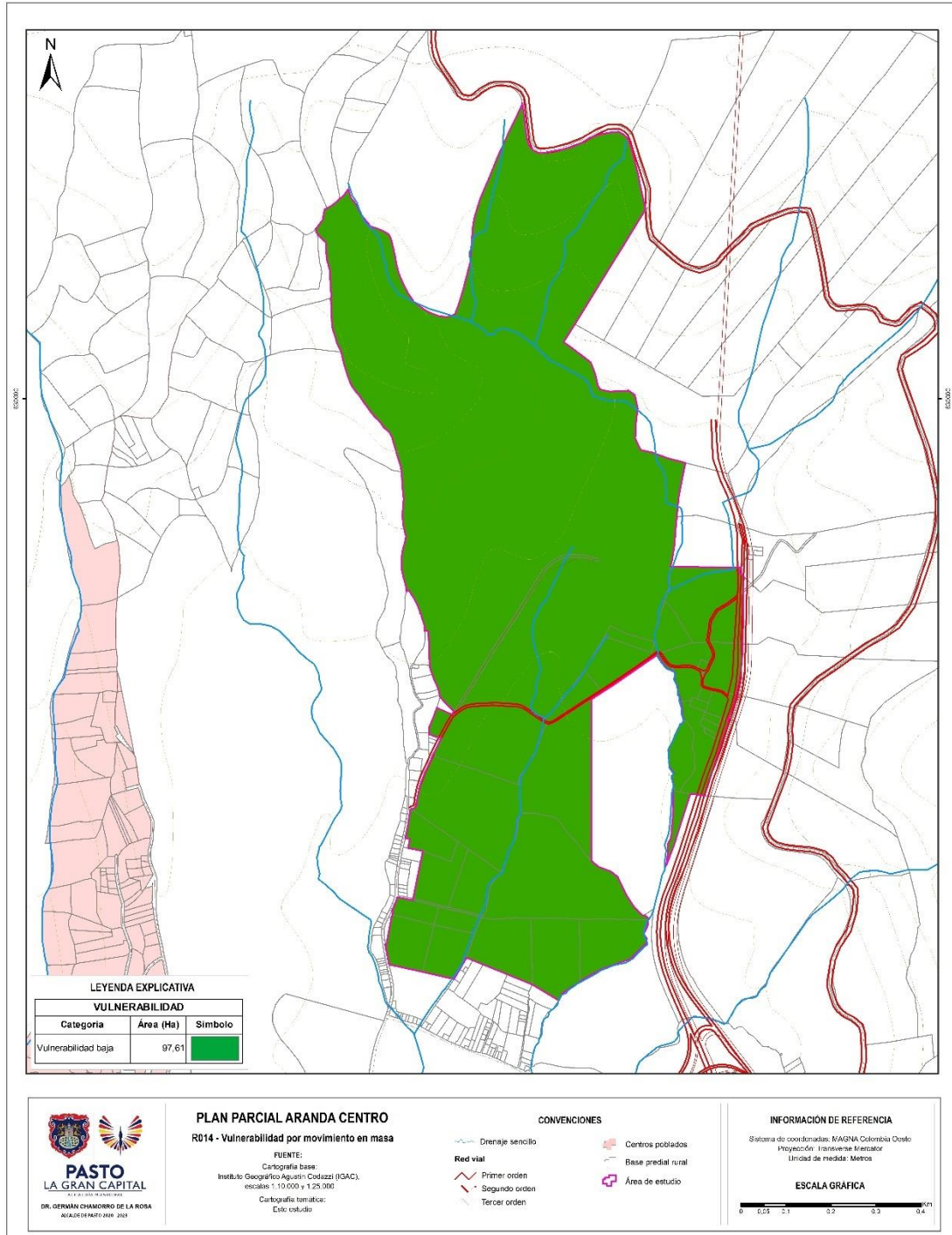
probabilidades de lesiones o muertes en personas es nula. En el



Mapa 27 se presenta el mapa de vulnerabilidad generado a partir del análisis realizado.

2.2.1.10 Evaluación del riesgo

La evaluación de riesgo por movimientos en masa implica un análisis en función de la probabilidad de la amenaza ($P(H)$), la vulnerabilidad (V) y el costo de los elementos expuestos (E). Los criterios fijados para la aceptabilidad del riesgo en bienes físicos y personas se basan en estimaciones de pérdidas anuales o en probabilidad de personas afectadas anualmente. Las pérdidas en bienes se pueden calcular como el costo aproximado de daños, definido como el porcentaje de daño del valor comercial del elemento (SGC, 2016).



Mapa 27. Mapa de vulnerabilidad por movimiento en masa.
Fuente. Este estudio. SPM 2023

2.2.1.10.1 Categorización del riesgo

La categorización del riesgo se separa para bienes físicos y para personas, posteriormente estos resultados se integran en un resultado final ya sea alto, medio o bajo. A cada categoría se puede plantear algunas medidas de intervención o reducción según el caso; en el caso de una categoría de riesgo alto es necesario plantear medidas de intervención o estrategias de gestión que definan la viabilidad técnica, financiera y urbanística.

En la Tabla 49 se propone la categorización a usar en bienes físicos, y en la Tabla 50 se muestra la combinación para establecer el riesgo total a partir de riesgo en bienes físicos y riesgo en personas.

Costo aproximado de daño	Categoría	Descripción
60 - 200%	Alto	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco prácticas; además pueden ser más costosas que el valor mismo de la propiedad
20 - 60%	Medio	Pueden tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con la regulación estatal) pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viablemente económicas
0 - 20%	Bajo	Usualmente aceptable para los tomadores de decisiones. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas

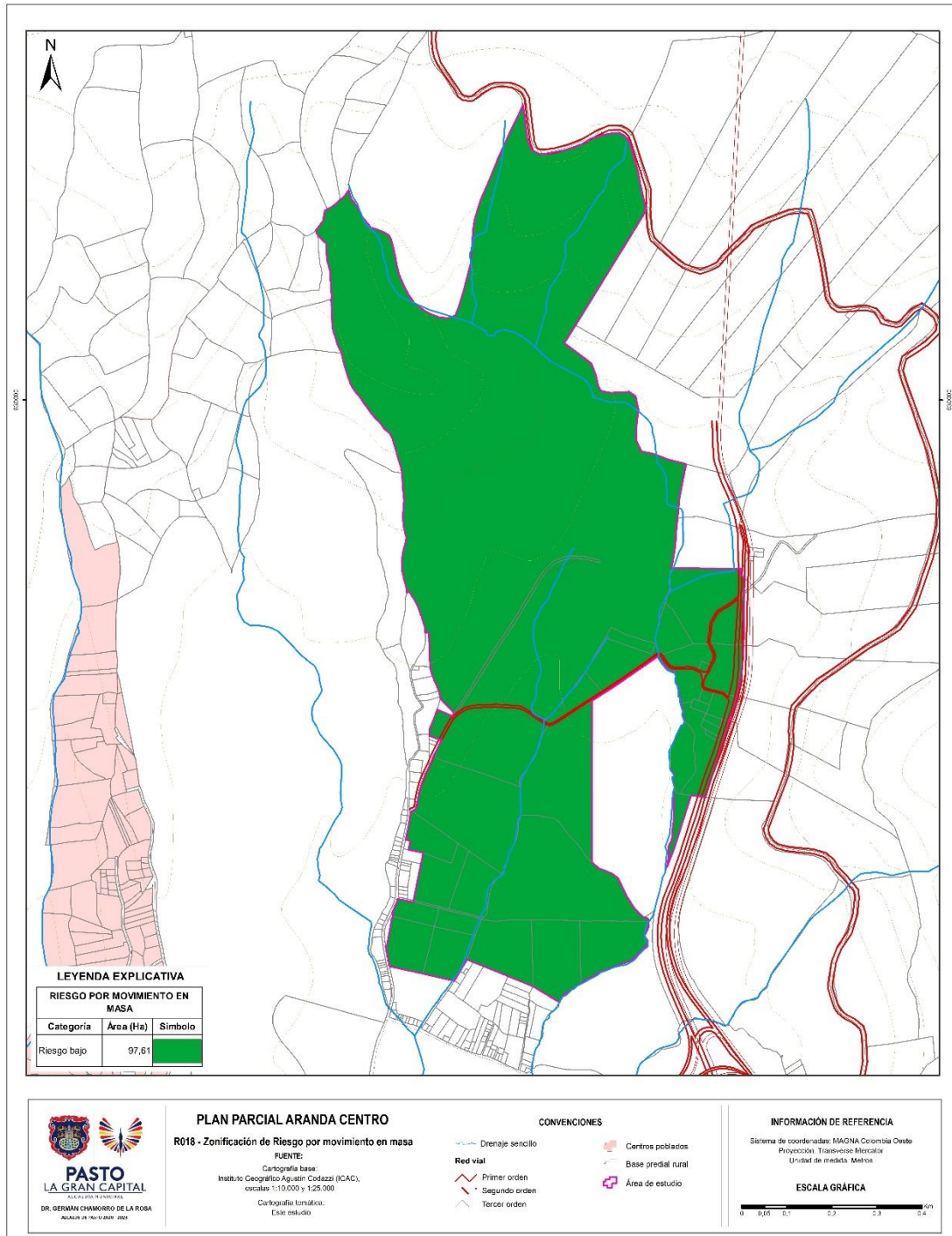
Tabla 49. Categorización del riesgo de bienes físicos
Fuente. SGC 2016

Riesgo físicos	Riesgo en personas		
	Alto	Medio	Bajo
Alto	Alto	Alto	Alto
Medio	Alto	Medio	Medio
Bajo	Alto	Bajo	Bajo

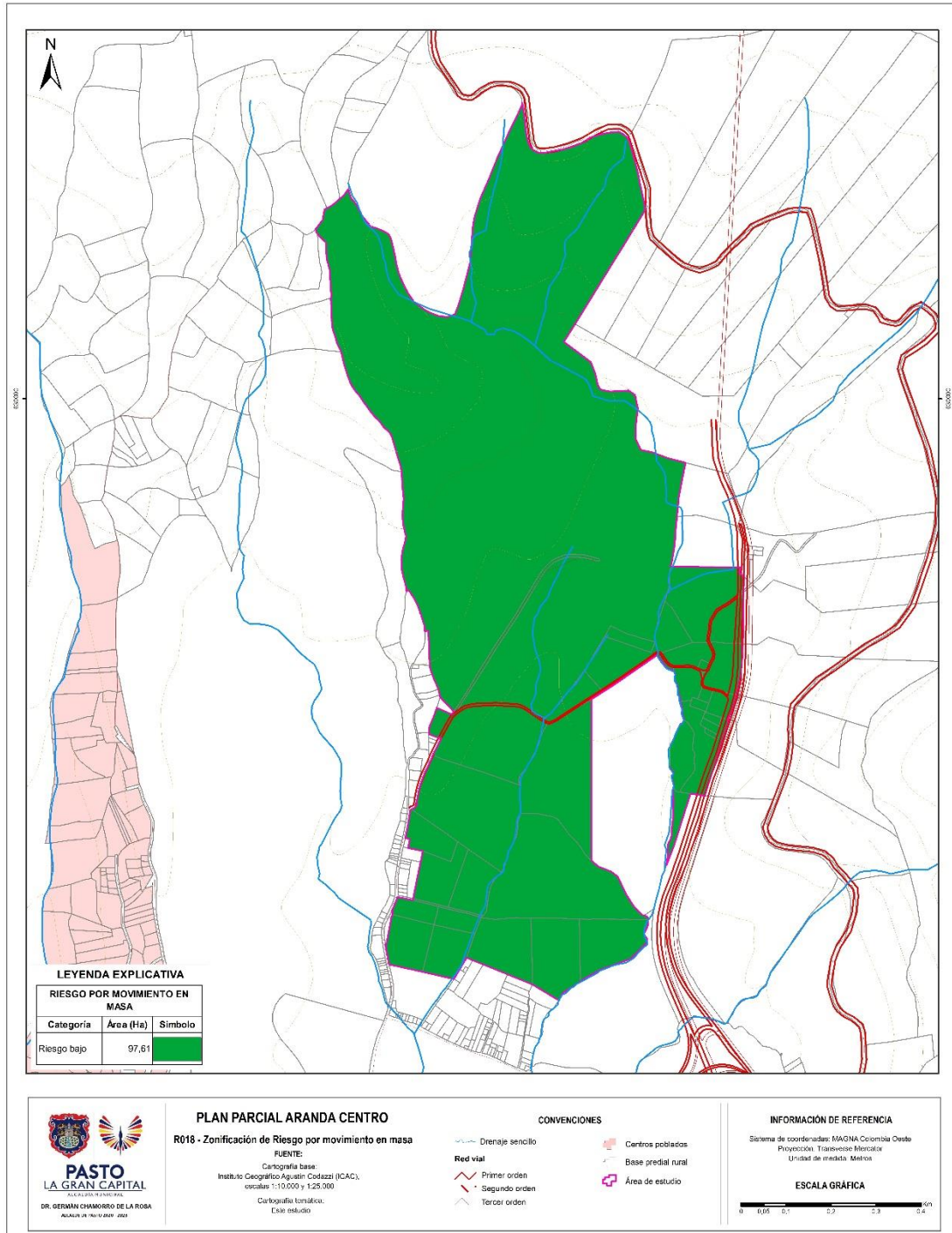
Tabla 50. Categorización del riesgo de bienes físicos y personas
Fuente: SGC 2016

Como ya se analizó para el Plan Parcial Aranda Central es una categorización baja en función de la amenaza y la vulnerabilidad, el riesgo también se define en una categoría baja evaluando también el riesgo en bienes físicos y en personas, por esto la probabilidad de víctimas fatales prácticamente es nula. Es un riesgo aceptable y solo se requieren

medidas de prevención. En el



Mapa 28 se presenta estos resultados mediante el mapa de zonificación de riesgo, donde se observa en color verde la categoría de riesgo bajo.



Mapa 28. Zonificación de riesgo por movimiento en masa.
Fuente. Este estudio. SPM 2023

2.2.2 Amenaza Volcánica

El Volcán Galeras está localizada en el Departamento de Nariño, aproximadamente 9 km al occidente de la ciudad de San Juan de Pasto. Sus coordenadas son 1°13,31' N y 77°21,68' W, en el dominio geográfico de la depresión interandina Cauca-Paífa.

Dentro de sus características, el Volcán Galeras es considerado un Estratovolcán caldérico, con diámetro de base de 20 km y diámetro del cráter principal de 320 m y 80 m de profundidad, tomando una forma cónica destruido en la parte Occidental, considerándose este el centro eruptivo y más activo de Colombia denominado Complejo Volcánico Galeras (CVG), debido a su corta recurrencia en periodos de actividad, el cual consta de diversas fases que se ha denominado a lo largo de la historia como: Cariaco, Pamba, Coba Negra, La Guaca, Genoy, Urcunina y actualmente Galeras (SGC, 2015).

El cono volcánico activo está ubicado en el interior de un anfiteatro formado por el colapso de edificios anteriores del CVG, visible desde la ciudad y poblaciones aledañas. En el volcán Galeras se han identificado seis episodios principales de actividad eruptiva, en los últimos 4500 años, caracterizados predominantemente por la generación de flujos piroclásticos (flujos de bloques y cenizas, flujos de escoria y flujos de ceniza); así como flujos de lavas andesíticas, caídas piroclásticas, formación de domos de lava, emisión de proyectiles balísticos y flujos de lodo secundarios. Uno o varios fenómenos simultáneos podrían presentarse en erupciones futuras, acompañados de ondas de choque, sismos y emisión de gases (SGC, 2015).

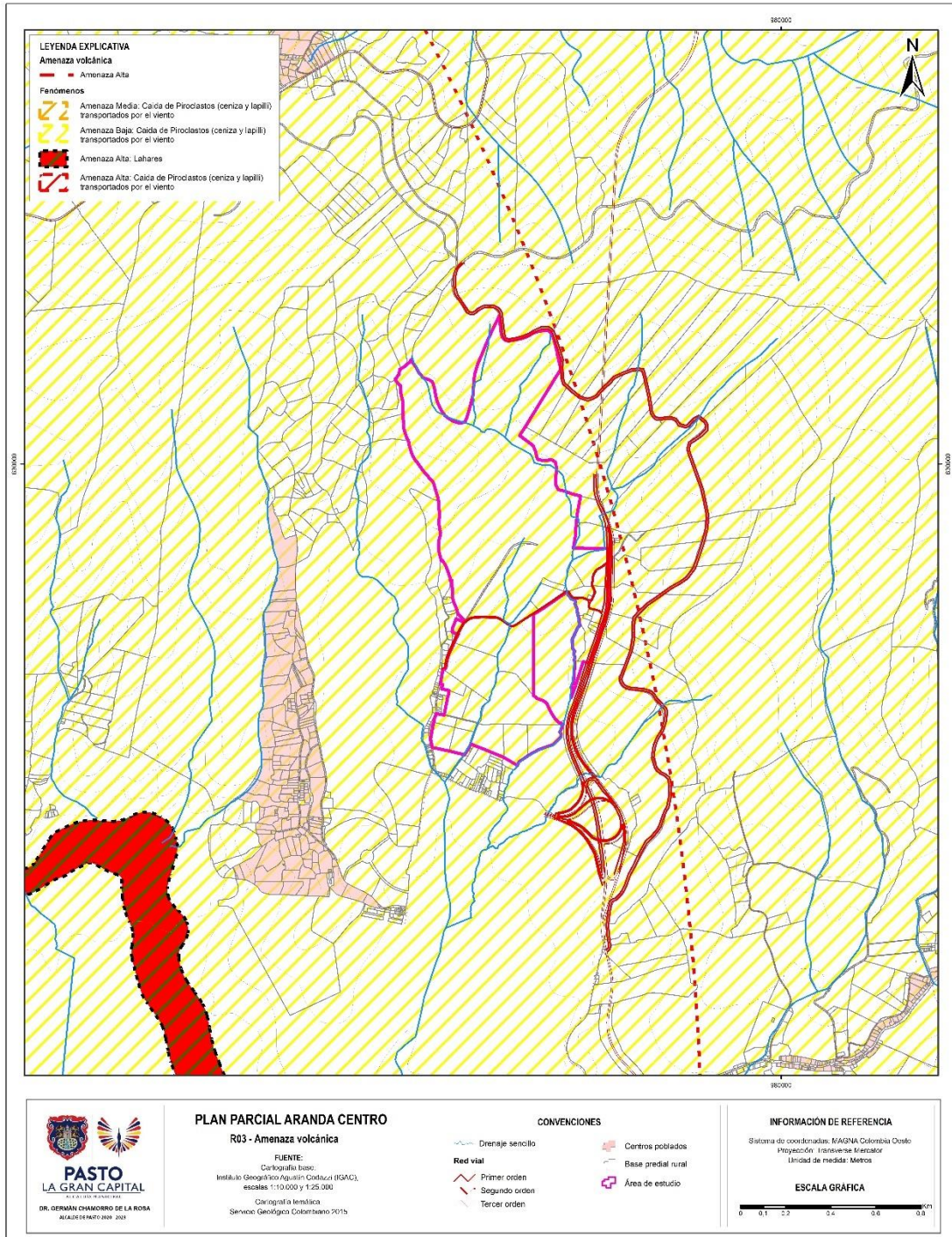
El Servicio Geológico Colombiano (SGC), realizó el Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras a partir de la integración de las posibles trayectorias de los fenómenos volcánicos como caídas piroclásticas, flujos de lavas, lahares, proyectiles balísticos, ondas de choque y corrientes de densidad piroclástica con posibilidad de ocurrencia en el volcán. A partir de esta información, se verificó el área del Plan Parcial Aranda Centro (Ver Mapa 29), que presenta amenaza baja por procesos de caídas piroclásticas de espesores entre 1 cm a 0,5 cm de tamaños ceniza.

2.2.3 Amenaza por subsidencia

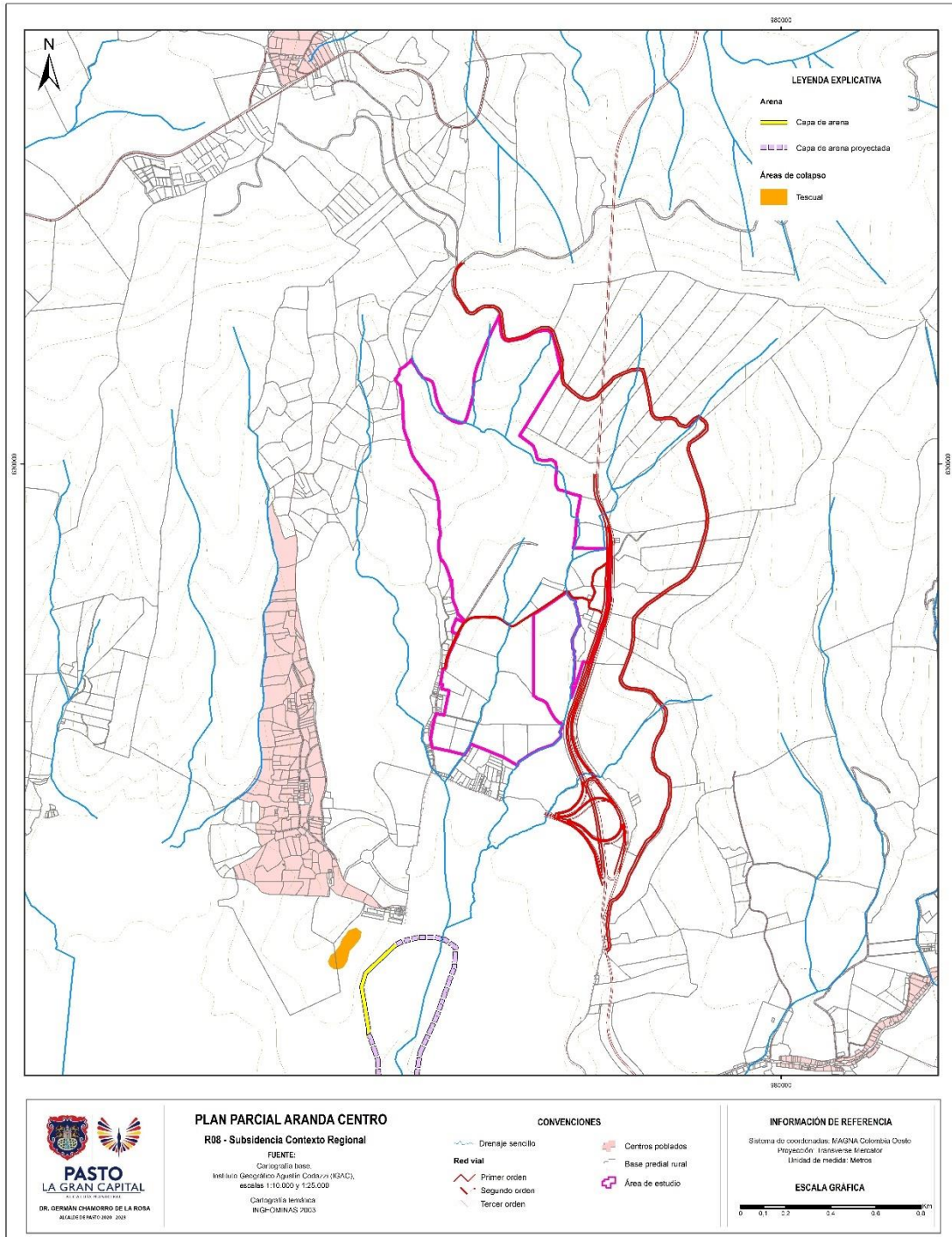
La subsidencia y los colapsos son movimientos verticales del terreno, originados por el desequilibrio interno de las fuerzas existentes debido a la generación de forma natural o artificial de vacíos en el subsuelo. Para el caso particular de la ciudad de Pasto, la subsidencia y colapsos representan un efecto ambiental derivado de una actividad antrópica de extracción de arenas.

El (INGEOMINAS, 2003), realizó un estudio de evaluación de los efectos actuales de subsidencia y colapsos por actividades de aprovechamiento subterráneo de recursos minerales en la ciudad de Pasto (Ver

Mapa 30), donde se establecieron áreas con condición de riesgo por subsidencia, que para el área de estudio del Plan Parcial Aranda Centro, se encuentra excluido dichos polígonos y la capa de arena delimitada tampoco se encuentra dentro de la zona de estudio. Debido a esto, no se consideró realizar zonificación de amenaza por subsidencia ya que no existe dicho fenómeno amenazante en el predio y adicionalmente mediante trabajo de campo y sondeos geotécnicos no se identificó la capa de arena ni procesos de subsidencia.



Mapa 29. Amenaza volcánica Volcán Galeras.
Fuente: Adaptado de SGC 2015



Mapa 30. Zonas de condición de riesgo por subsidencia.
Fuente: Adaptado de SGC 2003

2.2.4 Riesgo por inundaciones

Para el análisis de cada uno de los fenómenos naturales a desarrollar en el presente estudio se realizará inicialmente una descripción metodológica de cada una de las fases de análisis del fenómeno para posteriormente presentar los principales resultados, fruto de la aplicación de dicha metodología al caso en estudio.

2.2.4.1 Metodología

2.2.4.1.1 Caracterización Fisiográfica de la Cuenca de Aporte

- Área y perímetro

Es uno de los parámetros más importantes en la caracterización de cuencas hidrográficas, influye directamente en la magnitud de los caudales producidos por la misma; su medición se realiza a partir de digitalización de la divisoria de aguas con ayuda de ArcGis se determina automáticamente el área. El perímetro informa sobre la forma de la cuenca, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas; se calcula a partir de la medición de la longitud de la línea divisoria de aguas de la cuenca en ArcGis.

- Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda una gota de lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una hoya, hasta llegar al punto de salida o de interés. Es decir, el tiempo de concentración mide el tiempo que necesita para que toda la hoya contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada (Monsalve, 1995).

El tiempo de concentración, depende principalmente de las condiciones fisiográficas de cada cuenca, es así, como varios autores han desarrollado distintas ecuaciones empíricas. Este estudio consideró estimar diferentes tiempos de concentración a través de las siguientes ecuaciones:

- **Kirpich**

$$T_c = 0.02L^{0.77}S^{-0.385}$$

Dónde:

T: tiempo de concentración (min)

L: longitud máxima del cauce principal (m)

S: pendiente media del cauce principal (m/m)

- **California Culverts Practice**

$$t_c = 60 \left[\frac{0.87075 L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

L: longitud en millas

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

- **Ramser-Kerby**

$$tc = 0.02Lc^{0.77} * \frac{DH^{-0.385}}{Lc} + \frac{2 \beta Lo^{0.467}}{S^{0.5^{0.467}}}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

Lc: Longitud del cauce en m

DH: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

β : Párametro = 0.04

Lo: Longitud del flujo escorrentía en m

S: Pendiente media del cauce

- **Método Racional Generalizado**

$$tc = 0.3 * \frac{H^{0.19}}{L} * l * 60$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

L: longitud cauce principal (m)

l: Longitud cauce principal (Km)

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

- **Federal Aviation Agency (FAA)**

$$tc = \frac{1.8 (1.1 - M \frac{L^{0.5}}{0.3048})}{100 S^{0.33}}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

S: pendiente media del cauce principal (m/m)

M: MOPU (0.5)

L: longitud cauce principal (m)

- **Carter**

$$tc = 1.7 * \frac{L^{0.6}}{\frac{H}{L}^{0.3}} * 60$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (min)

L: Longitud cauce principal (Millas)

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

- **Dooge**

$$tc = \frac{21.88 * A^{0.41}}{\frac{H}{L}^{-0.17}}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (min)

L: Longitud cauce principal (m)

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

A: área cuenca (Km²) Susceptibilidad por inundaciones

2.2.4.2 Susceptibilidad ante el fenómeno de inundación

Para el análisis de la amenaza por inundaciones se inicia determinando la susceptibilidad ante el fenómeno, para lo cual se inicia con la identificación de elementos geomorfológicos que corresponde al máximo nivel de detalle de una unidad geomorfológica, definida por los rasgos de relieve, por la morfometría detallada del terreno y por los microrrelieves asociados con una característica litológica con base en análisis detallados (Carvajal, 2011) (SGC, 2015).

Para realizar el mapa de elementos geomorfológicos se llevó a cabo dos fases, en la primera se realizó la fotointerpretación de imágenes satelitales disponibles y el MDT generado para el presente estudio, lo cual permitió identificar las principales formas del relieve definiendo polígonos que finalmente corresponde a los elementos geomorfológicos del predio de estudio.

En la segunda fase se realizó la verificación y corrección de los elementos encontrados con información cartográfica base como curvas de nivel, modelo de sombras y el mapa de pendientes.

2.2.4.3 Amenaza por inundaciones

2.2.4.3.1 Recopilación de la Información hidro-climatológica.

Metodológicamente, el paso inicial para el análisis de inundaciones es la recopilación y disponibilidad de información hidro-climatológica en el área de estudio. El tipo de información encontrada marca el enfoque del análisis hidro-climatológico de la zona, el cual generalmente se enmarca dentro de transformación lluvia de caudal debido a la escasa información hidrológica en el país de pequeñas fuentes hídricas cercanas.

Bajo este escenario, la presencia de estaciones meteorológicas en el área de estudio se vuelva vital, puesto que de ello depende que el análisis, en este caso, de riesgo por inundaciones tenga los elementos mínimos para la confiabilidad del estudio.

Operativamente, el paso inicial corresponde a la búsqueda, localización y análisis de la información disponible de precipitaciones de la zona, para ello se hará una revisión de la base de Datos de la información hidro-climatológica del IDEAM, para posteriormente hacer una selección de la información y análisis de consistencia de las series seleccionadas para ser usadas en la determinación de caudales de diseño para el proyecto en cuestión.

2.2.4.3.2 Análisis de Lluvias Máximas.

- Pruebas de Hipótesis

El estudio de frecuencia de series de precipitaciones diarias máximas anuales es uno de los tópicos más estudiados de la Hidrología, dada la necesidad de estimar la probabilidad de ocurrencia de crecidas para el diseño de obras hidráulicas, protección de ciudades, delimitación de márgenes de ríos, lagunas o embalses, entre otros.

El enfoque clásico del análisis de frecuencia se basa en el empleo de una serie de histórica de datos observados de manera sistemática en una sección o punto de interés de un río o una cuenca. Para el adecuado empleo de dicha serie, es necesario verificar en primera instancia el cumplimiento de dos tipos de pruebas de hipótesis: Pruebas de Independencia y Pruebas de Homogeneidad.

Las pruebas de Independencia son utilizadas para demostrar que los valores que conforman la serie son aleatorios. Esta afirmación implica que la probabilidad de ocurrencia de uno cualquiera de ellos no depende de la ocurrencia del o de los valores precedentes, y no afecta de ninguna manera a la probabilidad de ocurrencia de los datos posteriores.

Por su parte las pruebas de Homogeneidad evalúan si todos los valores que conforman la muestra, provienen estadísticamente de una misma población. Para ello es necesario dividir la muestra en dos o más grupos de tamaños iguales (o diferentes), y se comparan los estadísticos de la muestra: media, mediana, varianza, entre otros.

La aceptación de las pruebas de independencia y homogeneidad de la muestra estará dada en función de un nivel de significancia propuesto, por lo general del 5%. (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

- Nivel de Significancia

En problemas estadísticos, al afirmar cierta hipótesis que se desea contrastar, la misma recibe el nombre de hipótesis nula H_0 . El nombre de "nula" indica que H_0 representa la

hipótesis que se mantiene como verdadera a menos que los datos indiquen su falsedad, y puede entenderse, por tanto, en el sentido de “neutra”.

La hipótesis H_0 , nunca se considera probada, aunque puede ser rechazada por los datos. Por ejemplo, la hipótesis de que dos poblaciones tienen la misma media puede ser rechazada fácilmente cuando ambas difieren considerablemente, analizando muestras suficientemente grandes de ambas poblaciones. Sin embargo, no puede ser “demostrada” mediante muestreo, puesto que siempre cabe la posibilidad de que las medias difieran en una cantidad δ lo suficientemente pequeña para que no pueda ser detectada, aunque la muestra sea muy grande.

A partir de una muestra de la población en estudio, se extrae un estadístico, esto es, un valor que es función de la muestra, cuya distribución de probabilidad esté relacionada con la hipótesis en estudio y sea conocida. Se toma entonces el conjunto de valores que es más improbable bajo la hipótesis, como región de rechazo, esto es, el conjunto de valores para el cual se considera que, si el valor del estadístico obtenido pertenece a él, se rechazará la hipótesis nula.

Es importante destacar que la probabilidad de que se obtenga un valor del estadístico que pertenezca a la región de rechazo, aun siendo cierta la hipótesis, puede calcularse. De esta manera, se puede escoger dicha región de tal forma que la probabilidad de cometer este error sea suficientemente pequeña.

Actualmente se considera siempre una hipótesis alternativa a la hipótesis nula. De manera explícita o implícita, la hipótesis nula, a la que se denota habitualmente por H_0 , se enfrenta a otra hipótesis denominada hipótesis alternativa y que se denota H_1 . En los casos en los que no se especifica H_1 de manera explícita, se puede considerar que la misma ha quedado definida implícitamente como “ H_0 es falsa”.

Si por ejemplo se desea comprobar la hipótesis de que dos distribuciones tienen la misma media, se considera implícitamente como hipótesis alternativa “ambas poblaciones tienen distinta media”. Es posible, sin embargo, considerar casos en los que H_1 no es la simple negación de H_0 .

Un test de hipótesis se entiende, en el enfoque moderno, como una función de la muestra, corrientemente basada en un estadístico. Puede suponerse que se tiene una muestra de una población en estudio y que se han formulado hipótesis sobre un parámetro θ relacionado con la distribución estadística de la población.

Supongamos que se dispone de un estadístico $T(X)$ cuya distribución con respecto a θ , $F_0(T)$ se conoce. Supongamos, también, que las hipótesis nula y alternativa tienen la siguiente formulación:

$$\begin{cases} H_0: \theta \in \Theta_0 \\ H_1: \theta \in \Theta_1 \end{cases}$$

Un contraste, prueba o test para dichas hipótesis sería una función de la muestra de la siguiente forma:

$$\phi(x) = \begin{cases} 1, & \text{si } T(X) \in \Omega \\ 0, & \text{si } T(X) \in \Omega \end{cases}$$

Donde $\phi(\chi) = 1,0$ significa que se debe rechazar la hipótesis nula, H_0 (aceptar H_1) y $\phi(\chi) = 0,0$, que debemos aceptar H_0 (o que no hay evidencia estadística contra H_0).

A Ω se la denomina región de rechazo. En esencia, para construir el test deseado, basta con escoger el estadístico del contraste $T(X)$ y la región de rechazo Ω .

Se escoge Ω de tal manera que la probabilidad de que $T(X)$ caiga en su interior sea baja cuando se da H_0 . Una vez realizado el contraste de hipótesis, se habrá optado por una de las dos hipótesis, H_0 o H_1 , y la decisión escogida coincidirá o no con la que en realidad es cierta. Se pueden dar los cuatro casos que se exponen a continuación.

	H_0 es cierta	H_1 es cierta
Se escogió H_0	No hay Error	Error de Tipo II
Se escogió H_1	Error de Tipo I	No hay Error

En el cuadro, los errores se definen de la siguiente manera: Si uno decide que la hipótesis nula: H_0 es verdadera y efectivamente H_0 es cierta, entonces no se ha cometido ningún error, correspondiendo la posición superior izquierda de la tabla precedente. Por el contrario, si uno afirma la validez de H_0 y ésta en realidad no es verdadera, entonces se estaría incurriendo en un error. A este tipo de error de aceptar H_0 cuando esta no es verdadera se lo denomina Error de Tipo II (cuadro superior derecho).

De igual modo, al elegir como verdadera la hipótesis alternativa H_1 , cuando en realidad es válida H_0 , se comete un error al cual se denomina error de Tipo I (cuadro inferior izquierdo). Por último, al elegir como cierta H_1 y resultar ésta verdadera no se comete ningún error y se encuentra en el cuadrante inferior derecho de la tabla precedente.

Si la probabilidad de cometer un error de tipo I está unívocamente determinada, su valor se suele denotar por la letra griega α , y en las mismas condiciones, se denota por β la probabilidad de cometer el error de tipo II, esto es:

$$P(\text{escoger } H_1 \mid H_0 \text{ es cierta}) = \alpha$$

$$P(\text{escoger } H_0 \mid H_1 \text{ es cierta}) = \beta$$

El valor α es también conocido como nivel de significancia de la prueba. Se denomina potencia del contraste al valor $1-\beta$, esto es, a la probabilidad de escoger H_1 cuando esta es cierta.

Cuando es necesario diseñar un contraste de hipótesis, sería deseable hacerlo de tal manera que las probabilidades de ambos tipos de error fueran tan pequeñas como fuera posible. Sin embargo, con una muestra de tamaño prefijado, disminuir la probabilidad del error de tipo I, α , conduce a incrementar la probabilidad del error de tipo II, β .

Usualmente, se diseñan los contrastes de tal manera que la probabilidad α sea el 5% (0,05), aunque a veces se usan el 10% (0,1) o 1% (0,01) para adoptar condiciones más relajadas o estrictas. El recurso para aumentar la potencia del contraste, esto es, disminuir β , probabilidad de error de tipo II, es aumentar el tamaño de la muestra, lo que en la práctica

conlleva un incremento de los costos del estudio que se quiere realizar (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005), ver Figura 26.

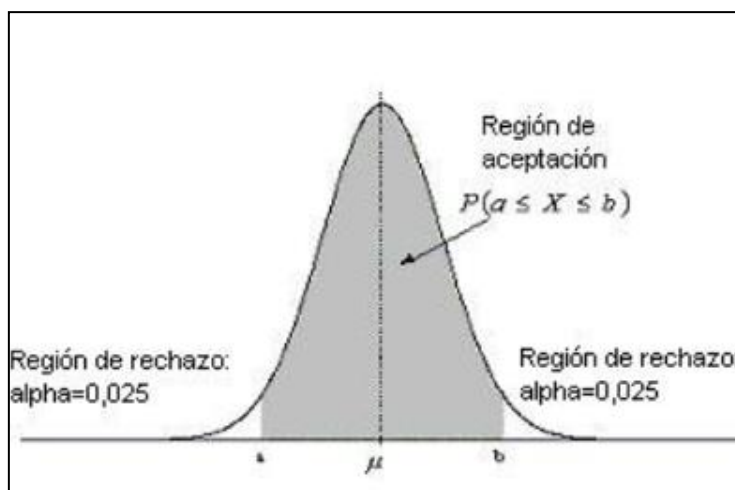


Figura 26. Región de rechazo y aceptación en la distribución normal.
Fuente: (Tucci , 1993).

- **Prueba Estadística De Datos Dudosos De Chow (OUTLIERS)**

Los outliers son datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información y que afectan de una manera considerable la magnitud de los parámetros estadísticos de la serie (ver Tabla 51), especialmente en muestras pequeñas. Para detectar los datos dudosos, se calculan umbrales superiores e inferiores para cada serie de datos. Para ello se emplean las ecuaciones recomendadas por (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

$$y_H = \mu_y + K_n \cdot \sigma_y$$

$$y_L = \mu_y - K_n \cdot \sigma_y$$

Donde:

y_L Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

μ_y Media de los logaritmos de los caudales.

σ_y Desviación estándar de los logaritmos de los caudales.

K_n Valor tabulado para una muestra de tamaño n

Tamaño muestra n	Kn	Tamaño muestra n	Kn	Tamaño muestra n	Kn	Tamaño muestra n	Kn
10	2.036	18	2.335	26	2.502	34	2.616
11	2.088	19	2.361	27	2.519	35	2.628
12	2.134	20	2.385	28	2.534	36	2.639
13	2.175	21	2.408	29	2.549	37	2.650
14	2.213	22	2.429	30	2.563	38	2.661
15	2.247	23	2.448	31	2.577	39	2.671
16	2.279	24	2.467	32	2.591	40	2.682
17	2.309	25	2.486	33	2.604		

Tabla 51. Kn para prueba de datos atípicos de Chow.
Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

- **Prueba de Independencia De Anderson**

La prueba que se propone para determinar si las variables que integran las series de las estaciones seleccionadas son independientes es la de: Anderson. La misma se presenta a continuación:

La prueba de independencia de Anderson (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005) hace uso del coeficiente de auto correlación serial r_k^j para diferentes tiempos de retraso k. En el caso de analizar un solo registro, entonces $j = 1$.

La expresión para obtener el coeficiente de auto correlación serial de retraso k se presenta a continuación.

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q}^j)(Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}$$

Para: $k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3}$

Donde:

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Además, los límites al 95% de confianza para r_k^j se pueden obtener mediante:

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1,96 \sqrt{(n_j - k - 1)}}{n_j - k}$$

La gráfica de los valores estimados para r_k^j (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se denomina correlograma de la muestra.

Si no más del 10% de los valores r_k^j sobrepasan los límites de confianza, se dice que la serie Q_i^j es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).

- Pruebas de Homogeneidad

Durante el desarrollo de este estudio se han aplicado dos pruebas de Homogeneidad. Dichas pruebas permiten determinar si las variables que integran cada una de las series de las estaciones seleccionadas pertenecen estadísticamente a una misma población (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005). Estas pruebas han sido las de t de Student y Cramer.

- Prueba Estadística t de Student

Si se considera una serie Q_i^j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, del sitio j, la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$. En el caso de que no se cuente con muestras pares las submuestras no tendrán igual número de datos, difiriendo por uno, lo cual no afecta la validez de la prueba (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde:

\bar{x}_1, s_1^2 : son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1

\bar{x}_2, s_2^2 : son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2

El valor absoluto de t_d se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas y con $\nu = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 0,05$.

Si y solo si el valor absoluto de t_d es mayor que aquel de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia, y por lo tanto la serie Q_i^j se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).

- Prueba Estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro Q_i^j de la serie j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005). Con este propósito se consideran tres bloques, el primero del tamaño total de la

muestra, n_j , el segundo de tamaño n_{60} (últimos 60% de los valores de la muestra) y el tercero de tamaño n_{30} (últimos 30% de los valores de la muestra). La prueba compara el valor \bar{Q}^j del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos \bar{Q}_{60}^j y \bar{Q}_{30}^j . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los dos bloques (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Para una sola muestra analizada $j = 1$.

$$S_Q^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

$$\bar{Q}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

$$\tau_{60}^j = \frac{\bar{Q}_{60}^j - \bar{Q}^j}{S_Q^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{\bar{Q}_{30}^j - \bar{Q}^j}{S_Q^j}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w \cdot (n_j - 2)}{n_j - n_w \cdot [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{\frac{1}{2}} |\tau_w^j|$$

En las ecuaciones precedentes:

\bar{Q}^j : Valor medio de la serie analizada,

S_Q^j : Desvío,

$\bar{Q}_{60}^j, \bar{Q}_{30}^j$: Medias de las submuestras de 60% y 30% de los datos

τ_{60}^j, τ_{30}^j : Estadísticos de cada una de las submuestras

t_w : Estadístico de la prueba para cada una de las submuestras (30 y 60%).

El estadístico t_w tiene distribución t de Student de dos colas con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Si y solo si el valor absoluto de t_w para $w = 60$ y $w = 30$, es mayor que el de la distribución t de Student se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie Q_i^j se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea.

- Análisis de Frecuencia Puntual

El análisis de frecuencia de las precipitaciones diarias máximas anuales de una muestra Q_i , con $i = 1, 2, \dots, n$, se emplea para proveer la magnitud de un evento Q_T , de cierto período de retorno T, por medio del ajuste de una distribución de probabilidad, la cual se selecciona como la mejor de un grupo de ellas (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005). El procedimiento empleado durante el desarrollo de este estudio, para cada una de las series determinadas para las estaciones seleccionadas, ha sido el siguiente: Se ordenaron los caudales máximos medios diarios anuales de cada una de las series de mayor a menor; se asignó a cada serie una distribución de probabilidad empírica, siguiendo la ley de Weibull; y para cada una de las series se determinaron los parámetros de ajuste de las siguientes distribuciones de probabilidad:

Uniforme,

Exponencial de parámetro β ,

Exponencial de parámetros x_0 y β ,

Normal,

Log normal de 2 parámetros,

Log normal de 3 parámetros,

Gamma de 2 parámetros,

Gamma de 3 parámetros,

Gumbel.

Los parámetros de ajuste de cada una de estas distribuciones de probabilidad se obtuvieron según los procedimientos adaptados para cada una de ellas (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005), entre los que se cuentan:

Momentos.

Máxima Verosimilitud.

Máxima Entropía.

Momentos L.

Momentos de Probabilidad Pesada, y Mínimos Cuadrados.

- **Métodos de Selección de Distribuciones**

La calidad de los valores de precipitación o caudal estimados para un cierto período de retorno, con distribuciones de probabilidad teórica, está dado principalmente por la comparación de dichos valores estimados con los valores realmente observados o medidos.

Para ello es posible utilizar diferentes técnicas denominadas Técnicas de Evaluación o Métodos de Bondad de Ajuste. Entre los diferentes métodos más difundidos se encuentran los de: Chi Cuadrado, Kolmogorov – Smirnov, Papeles probabilísticos y Error Estándar de Ajuste.

Durante el desarrollo de este estudio, se ha considerado que el mejor de los métodos indicados es el del Error Estándar de Ajuste. Esta afirmación se justifica al considerar que el método del error estándar de ajuste, al incluir en el cálculo de su valor de comparación el número de parámetros que emplea la distribución seleccionada, evita cometer errores por sesgo, dándole a todas las distribuciones un mismo peso para ser comparadas. Con ello se logra una comparación entre métodos de ajuste más equilibrada.

A continuación, por lo expresado precedentemente, serán presentadas, de manera resumida las primeras tres técnicas y de forma más extensa la técnica del error estándar de ajuste (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).

- **Técnica Chi-Cuadrado**

La prueba de Chi - Cuadrado es considerada como una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (bondad de ajuste), indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas; de haberlas, se deben al azar en el contraste de hipótesis. También se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia.

En esta prueba, para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir la siguiente ecuación.

$$\frac{\sum(\theta_i - \varepsilon_i)^2}{\varepsilon_i} < \chi^2_{1-\alpha; k-1-n}$$

Donde $\chi^2_{1-\alpha; k-1-n}$ es el valor de una variable aleatoria con distribución Chi² Cuadrado para $k - 1 - n$ grados de libertad y un nivel de significancia α , k es el número de intervalos y n es el número de parámetros empleados por la función de distribución (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).

- **Técnica Kolmogorov – Smirnov**

La prueba Kolmogorov - Smirnov consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia entre la función de distribución observada $F_o(x_i)$ y la estimada $F_n(x_i)$, con un valor crítico “ D_α ” que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. La expresión de comparación para la prueba de Kolmogorov – Smirnov está dada por (Tucci , 1993).

$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} |\hat{F}_n(x_i) - F_o(x_i)|$$

Donde:

x_i : Valor i-ésimo observado en la muestra (ordenada de mayor a menor).

$\hat{F}_n(x_i)$: Función de probabilidad estimada.

$F_o(x_i)$: Función de probabilidad observada.

Si los valores observados $F_o(x_i)$ son similares a los esperados $\hat{F}_n(x_i)$, el valor de D será pequeño. Cuanto mayor sea la discrepancia entre la distribución empírica y la distribución teórica, mayor será el valor de D. Por tanto, el criterio para la toma de la decisión entre las dos hipótesis será de la forma:

Si $D < D_\alpha$: Aceptar que los datos observados siguen la distribución probada

Si $D > D_\alpha$: Rechazar que los datos observados siguen la distribución probada

Donde el valor D_α se elige de tal manera que: $P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es cierta}) = P(D > D_\alpha / \text{Los datos siguen la distribución probada}) = \alpha$, siendo α el nivel de significancia seleccionado para la prueba de bondad de ajuste (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

- Técnica de papeles Probabilísticos

La probabilidad acumulada de una distribución teórica puede representarse gráficamente en un papel de probabilidad diseñado para la distribución. En uno de estos papeles las ordenadas usualmente representan el valor de x en una cierta escala y la abscisa representa la probabilidad $P(X \geq x)$ o $P(X < x)$, el período de retorno T o la variable reducida y_T .

Las escalas para las ordenadas y las abscisas están diseñadas de tal manera que se espera que los datos que van a ser ajustados se ubiquen próximos a una línea recta. El propósito del uso del papel de probabilidad es el de linealizar la relación de probabilidad de tal manera que los datos graficados puedan ser fácilmente utilizados para interpolación, extrapolación o con propósitos de comparación. Para aquella distribución de probabilidad en donde los datos observados se pueden ubicar más próximos a una recta, será la distribución que mejor represente a la serie de datos (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

- Técnica del Error Estándar de Ajuste

(Kite, 1988) propuso un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos Q_i^j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, de un sitio j . Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste y se obtiene con la siguiente ecuación.

$$EEA = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\hat{Q}_T^j - Q_T^j)^2}{n_j - m_p} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q_T^j Son los eventos Q_i^j ordenados de mayor a menor con un período de retorno asignado: $T = \frac{n_j + 1}{m}$ y una probabilidad de no excedencia

$$P = 1 - \frac{1}{T}$$

n_j : Longitud en años del registro analizado

m : Número de orden del registro.

\hat{Q}_T^j Eventos estimados por cierta distribución de probabilidad para cada período de retorno T asignado a la muestra ordenada Q_i^j .

m_p : Número de parámetros de la distribución ajustada.

- **Construcción Curva Intensidad-duración-Frecuencia IDF**

La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del estadístico E.E.A. Si una o más distribuciones tienen valores similares del E. E. A, entonces se deberá optar por aquella distribución que tenga el menor número de parámetros (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

Dependiendo de la información de lluvias disponible se procederá a utilizar la curva IDF de tres estaciones cercanas al área de estudio o se procederá a construir las curvas de intensidad-Duración-Frecuencia para las recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años basada en información pluviográfica o en su defecto pluviométrica por medio de desagregación de datos diarios y ajuste no lineal de la información utilizando la función nlnfit de Matlab.

- **Construcción de hietograma de Proyecto**

Una vez se encuentre disponible la curvas IDF del área de estudio se construirá el hietograma de proyecto, para ello se debe definir principalmente:

- La intensidad de la lluvia que será estimada con base en la curva IDF, la duración crítica de la lluvia y la recurrencia del fenómeno.

- La duración crítica de la lluvia, la cual estará asociada al tiempo de concentración de la cuenca.
- La discretización temporal de la lluvia se realizará mediante la metodología de bloque alterno, la cual será comparada con patrones temporales definidos en estudios realizados sobre la zona.
- Atenuación areal basada en el área de la cuenca y duración de la tormenta la cual fue de 3 % de acuerdo con la curva de atenuación área presentada en la Figura 27.

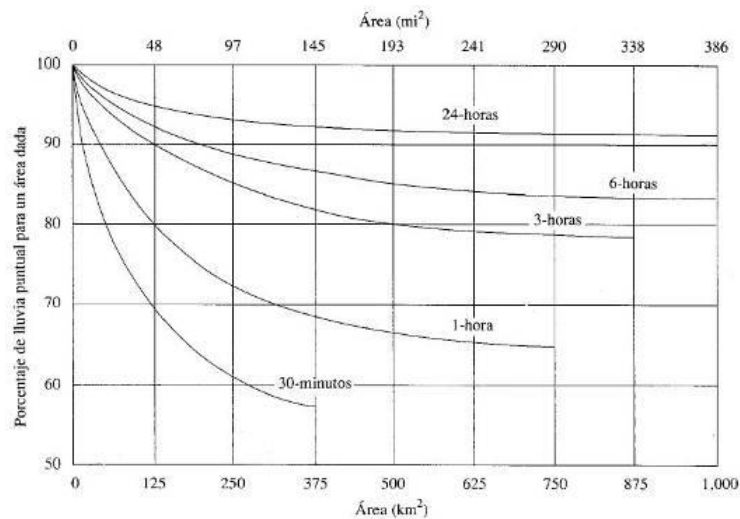


Figura 27. Atenuación areal.

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

2.2.4.3.3 Análisis de Caudales Máximos.

Teniendo, por un lado, las cuencas delimitadas y sus características fisiográficas definidas y, por otro, las lluvias de diseño, es posible efectuar el proceso de transformación lluvia caudal para la obtención del hidrograma correspondiente que represente una condición crítica para una lluvia con tiempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Para la modelación matemática de las cuencas se empleó el Modelo HEC-HMS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos. Éste es un modelo ampliamente difundido y probado por profesionales en todo el mundo.

La transformación lluvia caudal se desarrolló considerando tres cuencas. En todos los casos, los algoritmos a emplear estarán en función de la transformación, las pérdidas hidrológicas y el flujo base.

- **Pérdidas. Método del Número de Curva del SCS.**

Es un modelo empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, el cual, determina un umbral de escorrentía (P0) a través de un número hidrológico o número de curva (CN) agregado de la cuenca. El Número de Curva toma un

valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que, valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad (Agua y SIG, 2017).

El tipo de suelo se clasifica en uno de los cuatros grupos hidrológicos existentes. Estos grupos van desde A hasta D, representando el grupo A un potencial de escurrimiento mínimo y el D un potencial de escurrimiento alto (Aguilar & Díaz, 2016).

Según (Chow, Maidment, & Mays, 1994), los números curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service (SCS) con base en el tipo de suelo y el uso de este. Para ello, esta metodología define cuatro grupos de suelo:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

El procesamiento se realiza a través del software ArcGIS y la extensión HEC GEOHMS, partiendo de lo indicado anteriormente. El cálculo del número de curva del SCS se realiza mediante tres insumos: Modelo digital de elevación corregido, el tipo hidrológico de suelo y el uso del suelo.

Se Construye el mapa del tipo hidrológico de suelo de acuerdo con la metodología del SCS. Cabe destacar que, se considerará que los suelos de la zona de estudio pertenecen al grupo hidrológico B de acuerdo con el mapa de suelos del departamento de Nariño del IGAC y citado por (Mafla Chamorro, 2014). Una vez definido este, se reclasificó el uso hidrológico del suelo con respecto a la Tabla 52, la cual, es un promedio ponderado de los valores iniciales propuestos para Estados Unidos adaptada para el resto del mundo.

Posteriormente, se adecuarán los campos de atributos de cada capa para realizar una intersección a través de código común ponderando de los valores. Se calculará el número de la curva con el HEC-GeoHMS a través de la herramienta "Utility" seguido de la herramienta "Generate CN Grid". Para ello se tuvieron en cuenta el valor hidrológico para cada clase de suelo A, B, C Y D. de acuerdo con la Tabla 53.

Clasificación original		Reclasificación	
Número	Descripción	Número	Descripción
11	Agua a cielo abierto	1	Agua
90	Humedales leñosos		
95	Humedales herbáceos emergentes		
21	Poblados en espacios abiertos	2	Residencial media
22	Poblados de baja densidad		
23	Poblados de mediana densidad		
24	Poblados de alta densidad		
41	Bosques secos	3	Bosque
42	Bosques verdes		
43	Bosques mixtos		
31	Suelo fértil	4	Agricultura
52	Arbustos/matorrales		
71	Pastizales/herbáceas		
81	Pasto/heno		
82	Cultivos		

Tabla 52. Reclasificación uso hidrológico del suelo.
Fuente: (Agua y SIG, 2017).

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D
Agricultura	67	77	85	86
Agua	100	100	100	100
Residencial media	57	72	81	85
Bosque	30	58	71	78

Tabla 53. Valores de CN según uso de suelo.
Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

- Pérdidas iniciales: La abstracción inicial define la cantidad de precipitación que debe caer antes de que se produzca un exceso de superficie. Sin embargo, no es lo mismo que una interceptación inicial o una pérdida inicial, ya que cambiar la abstracción inicial cambia la respuesta de infiltración más adelante en la tormenta. Si este valor se deja en blanco, se calculará automáticamente como 0.2 veces la retención potencial, que se calcula a partir del número de curva. Para este caso, se considerará un escenario crítico donde no existen pérdidas iniciales debido a la saturación del suelo y la superficie.

- Transformación: Hidrograma Unitario del SCS.

El método de transformación del SCS fue desarrollado para estimar el volumen de salida a través de una precipitación en un área determinada. Este principalmente se utiliza para evaluar las inundaciones en cuencas pequeñas y medianas que cuentan con poca información meteorológica e hidrológica, y son de pequeño drenaje (Collado, 2010).

El hidrograma adimensional SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual se expresa por la relación del caudal q con respecto al caudal pico q_p y el tiempo por la relación del tiempo t con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario T_p . Dado el q_p y el tiempo de retardo para la duración de exceso de precipitación, el hidrograma unitario adimensional puede calcularse para cada cuenca en estudio o puede emplearse el propuesto por el SCS, que se muestra en la Figura 28, y que ha sido preparado utilizando los hidrogramas unitarios de gran variedad de cuencas. Los valores de q_p y T_p pueden estimarse utilizando un modelo simplificado de un hidrograma unitario triangular tal como se observa en la Figura 28.

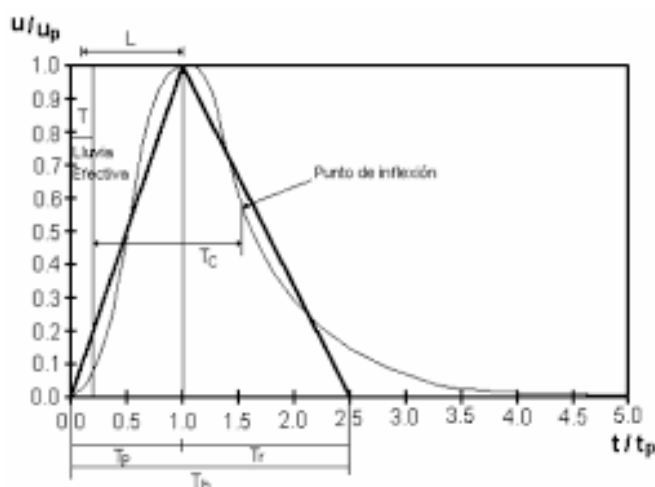


Figura 28. Hidrogramas unitarios triangular del SCS.

- Impermeabilidad: basada en el porcentaje de área intervenida y/o urbanizada con respecto al área total de cada cuenca, para ello se utilizó el mapa de coberturas.

2.2.4.3.4 Modelo hidráulico para definición de amenaza.

Para las simulaciones hidráulicas, se empleará el software Flo-2D, el cual, según Hübl and Steinwendtner citado por (Mattos, Parodi, & Damiano, S. F) es un modelo matemático que desarrolla los procesos físicos en grillas con rutinas de lluvia-escorrentamiento e hidrogramas sobre superficies y/o canales empleando ecuaciones cinemáticas, difusivas o dinámicas. Una de las características importantes del Flo-2D, es que a medida que realiza las simulaciones, el software realiza las rutas del flujo en ocho direcciones, norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste y noroeste, tal como se observa en la Figura 29.

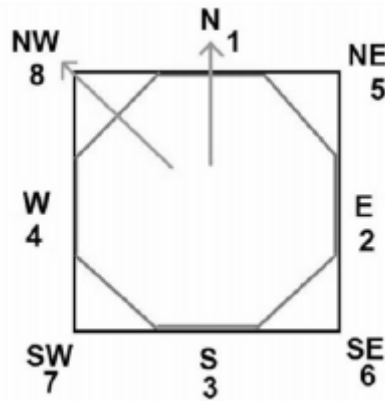


Figura 29. Esquema de rutas de trabajo para cada celda.

Según (Wu, Liu, & Chen, 2013) en cada dirección se asume que, la densidad del fluido hidrostático es constante. Las ecuaciones gobernantes son continuidad y onda dinámica de la ecuación de momento, en cada dirección. Por ejemplo, Las ecuaciones constitutivas bidimensionales incluyen la ecuación de continuidad;

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV_x}{\partial x} + \frac{\partial hV_y}{\partial y} = i$$

Así mismo, las ecuaciones bidimensionales de movimiento son:

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

Donde X, Y, y t, son independientes espacial y temporalmente variables, respectivamente, h corresponde a la profundidad de flujo (variable dependiente); por otro lado, V_x y V_y corresponden a componentes de velocidad promediada en profundidad a lo largo de las coordenadas X e Y, g es la aceleración gravitacional. El exceso de intensidad i de lluvia puede ser distinto de cero en el abanico aluvial o en la llanura de inundación.

Los componentes de la pendiente de fricción S_{fx} y S_{fy} están escritos en las ecuaciones anteriores en función de la pendiente del lecho S_{ox} y S_{oy} , gradiente de presión y términos de aceleración convectiva y local. Una aproximación de onda difusa a las ecuaciones de movimiento se define descuidando los últimos tres términos de aceleración de las dos últimas ecuaciones. Además, al descuidar el término de presión, se deriva una representación de onda cinemática.

Estas aproximaciones son válidas para abanicos aluviales empinados. La opción de usar una onda cinemática o una ecuación de onda difusa está disponible en FLO-2D (O'Brien, Julien, & Fullerton, 1993).

En este orden de ideas, el modelo en resumen el modelo matemático sigue las siguientes rutinas:

- Estimación del promedio geométrico entre celdas vecinas, coeficiente de rugosidad (n Manning) y pendiente.
- El cálculo se realiza a partir del paso anterior y de la entrada de caudal, la profundidad del flujo para calcular la velocidad a través del límite entre celdas para el siguiente lapso.
- La primera estimación de la velocidad es calculada empleando la ecuación de onda difusiva.
- La velocidad de onda difusiva predicha para el actual lapso es empleada para resolver la ecuación total de onda dinámica y así obtener la nueva velocidad.
- El caudal que atraviesa los límites entre celdas es calculado multiplicando la velocidad por el flujo de área seccional.
- El caudal incremental para el lapso a través de los ocho límites de la celda es sumado y el cambio de volumen es distribuido sobre el área almacenada disponible para determinar el incremento en la profundidad del flujo.
- Los criterios numéricos de estabilidad son revisados para la celda. Si algún criterio se excede, el tiempo de simulación se reduce, y se recalcula. Este proceso es un indicador de posibles inestabilidades.
- El proceso continúa en las siguientes celdas con el paso de tiempo original siempre que los criterios de estabilidad no sean excedidos.

- **Datos de entrada**

Las entradas principales se presentan a continuación:

- Topografía: con topografía levantada en campo, se elaboró un DEM en formato ASCII, con resolución de 1x1 m, los detalles se presentaron en el ítem de la cartografía base del proyecto.
- Se procedió a definir el DEM obtenido anteriormente como dominio donde se desarrollará la simulación.
- Una vez definido el dominio, se procedió a realizar la interpolación de elevación de puntos.
- Coeficientes de rugosidad: este se elaboró a partir de un mapa de coberturas, que contenía la clasificación de la Tabla 54.

Tipo de superficie	n
Smooth asphalt	0.011
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Good wood	0.014
Brick with cement mortar	0.014
Vitrified clay	0.015
Cast iron	0.015
Corrugated metal pipes	0.024
Cement rubble surface	0.024
Fallow soils (no residue)	0.05
Cultivated soils	0.035
Residue cover < 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Range (natural)	0.13
Grass	0.035
Short, prairie	0.15
Dense	0.24
Bermuda grass	0.41
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

Tabla 54. Coeficiente de rugosidad n de Manning en superficie.
Fuente: Extraído del Manual de Epa SWMM.

Posteriormente, se procedió a ejecutar el cálculo de n de Manning para cada celda de la grilla.

- El siguiente paso, consistió en adicionar las condiciones hidrológicas, donde primero se estableció la salida de flujo (outflow), con la herramienta "element by element". También, se procedió a incluir el hidrograma de entrada de flujo (inflow) en formato "HYD" y se lo ubicó en el inicio del predio.

- Finalmente, en el CON.DAT, se estableció un cambio de porcentaje de profundidad de 0.2, recomendado por el manual (FLO-2D Software, Inc., 2018), un ajuste de n de Manning de 0.001, un intervalo de tiempo Δt de 0.05 horas.

2.2.4.3.5 Categorización de la amenaza.

La categorización de la amenaza por inundación se realizará con base en la metodología desarrollada por (García et al, 2003, 2005). Los criterios del mapa de delineación de la amenaza se propusieron por primera vez en el proyecto PREVENE, 2001, donde se aplicaron a dos abanicos aluviales en Caracas, Venezuela. El enfoque sigue los problemas suizos y austriacos que determinan tres zonas (alta, media y baja) para delinear el nivel de amenaza de inundación.

La intensidad de la inundación está definida por la profundidad y el producto de profundidad por la velocidad del flujo. La probabilidad de ocurrencia es inversamente proporcional a la magnitud de la inundación. Por eso, los grandes eventos ocurren con menor frecuencia, pero poseen alta intensidad relativa a la profundidad y a la velocidad del flujo, mientras que los eventos pequeños son más frecuentes, pero menos dañinos (Flo2D, 2017). El nivel de la amenaza se define, entonces, como una función discreta que combina la intensidad (magnitud del evento) y el periodo de retorno (frecuencia).

Para fenómeno de inundaciones el mapa de amenaza se presenta en tres colores para definir el nivel de amenaza: nivel alto (rojo), nivel medio (naranja) y nivel bajo (amarillo), ver Tabla 55. *Nivel de Intensidad por inundaciones.*

Los colores de los mapas se traducen en áreas con características específicas de amenaza potencial por avenidas torrenciales descritas en la Tabla 57.

DEFINICIÓN DE LA INTENSIDAD ANTE INUNDACIONES			
Intensidad	Máxima profundidad h(m)		Producto de la máxima profundidad h (m) por la máxima velocidad v (m ² /s)
Alta	$h > 1.5 \text{ m}$	o	$v h > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$
Media	$0.5 \text{ m} < h < 1.5 \text{ m}$	o	$0.5 \text{ m}^2/\text{s} < v h < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$
Baja	$0.1 < h < 0.5 \text{ m}$	y	$0.1 \text{ m}^2/\text{s} < v h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$

Tabla 55. Nivel de Intensidad por inundaciones.

INTENSIDAD	Alta			
	Media			
	Baja			
FRECUENCIA		Alta	Media	Baja
Periodo de Retorno		2	25	100
Probabilidad de ocurrencia		50%	5%	1%

Tabla 56. Nivel de amenaza por Inundaciones.

Nivel de Amenaza	Color	Descripción
Alta		Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de sus casas. Las estructuras están en peligro de ser destruidas.
Media		Las personas están en peligro fuera de sus casas. Los edificios pueden sufrir daños y posible destrucción dependiendo de características de construcción
Baja		El peligro para las personas es bajo o inexistente. Los edificios pueden sufrir pequeños daños, pero las inundaciones o la sedimentación pueden afectar los interiores de las estructuras

Tabla 57. Definición de las categorías de Amenaza por Inundaciones.
Fuente: (FLO-2D Software, Inc., 2018).

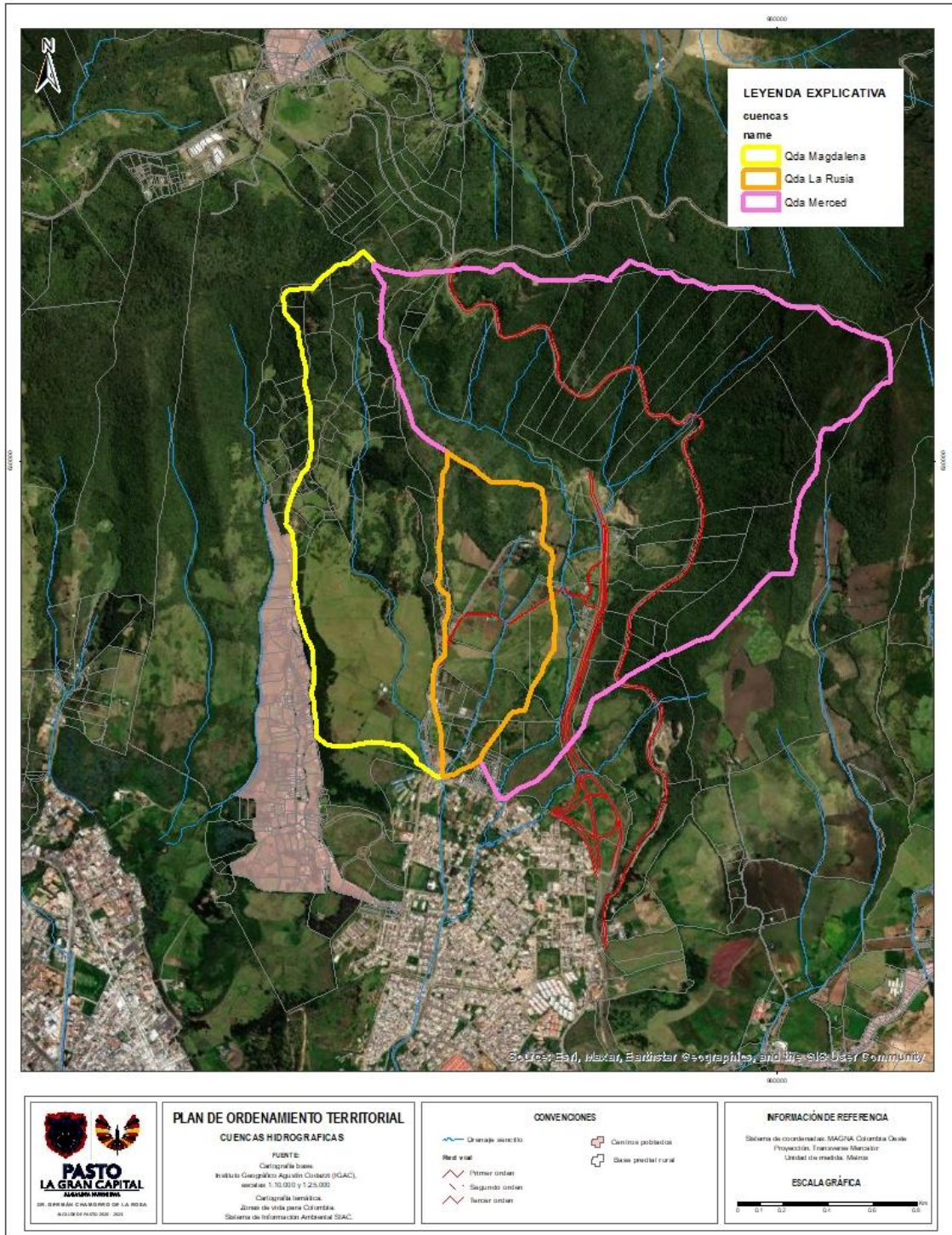
2.2.4.4 Resultados

2.2.4.4.1 Caracterización de la cuenca de aporte

En el Mapa 31, se presenta de manera esquemática la delimitación de las cuencas de aporte y las características fisiográficas de mayor importancia de esta, ver Tabla 58.

Cuenca	Área (Km ²)	Longitud escurrimiento principal (m)	Desnivel (m)	Pendiente cauce principal
La Merced	2.72	3345	58	0.05
La Rusia	0.55	1211	330	0.10
Magdalena	1.16	1273	72	0.06

Tabla 58. Características fisiográficas de las cuencas en estudio.



Mapa 31. Delimitación cuencas de aporte al predio de estudio.

2.2.4.4.2 Tiempo de Concentración.

En la Tabla 59 se presentan los valores de los tiempos de concentración de las cuencas en estudio obtenidos por diferentes métodos. En función de las condiciones fisiográficas de las cuencas en estado natural se considera, según la información suministrada por los moradores de estas y la bibliografía consultada (Bertoni, Chevallier, Bouvier, & Desbordes, 2000), (Ven Te Chow, 1994).

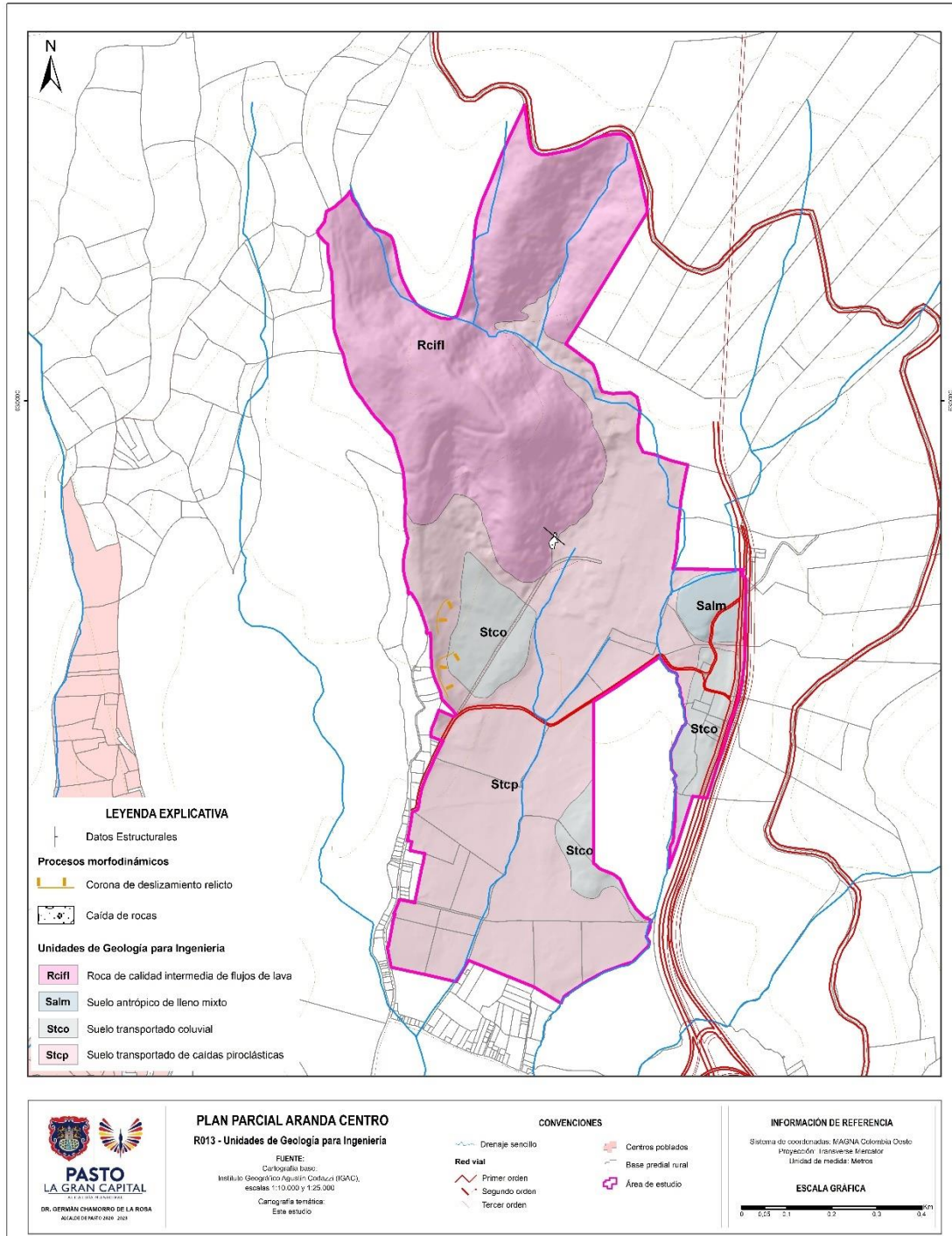
Cabe resaltar que el tiempo de concentración no se asume como el valor medio de la estimación realizada por los diferentes métodos, puesto que estos al ser empíricos están desarrollados para condiciones específicas, razón por la cual, se selecciona el método más apropiado, que en este caso sería Carter, método desarrollado para cuencas urbanas con áreas menores de 20,8 km² y canales con longitud inferior a 11,3 km (Sharifi & Hosseini, 2011).

No.	ID, Unidad Hidrológica	Kirpich	California Culverts Practice	Ramser - Kerby	Método Racional Generalizado	Carter	Dooge
1	La Merced	16 min	16 min	31 min	12 min	17 min	14 min
2	La Rusia	25 min	25 min	45 min	29 min	24 min	22 min
3	La Magdalena	14 min	14 min	28 min	12 min	15 min	11 min

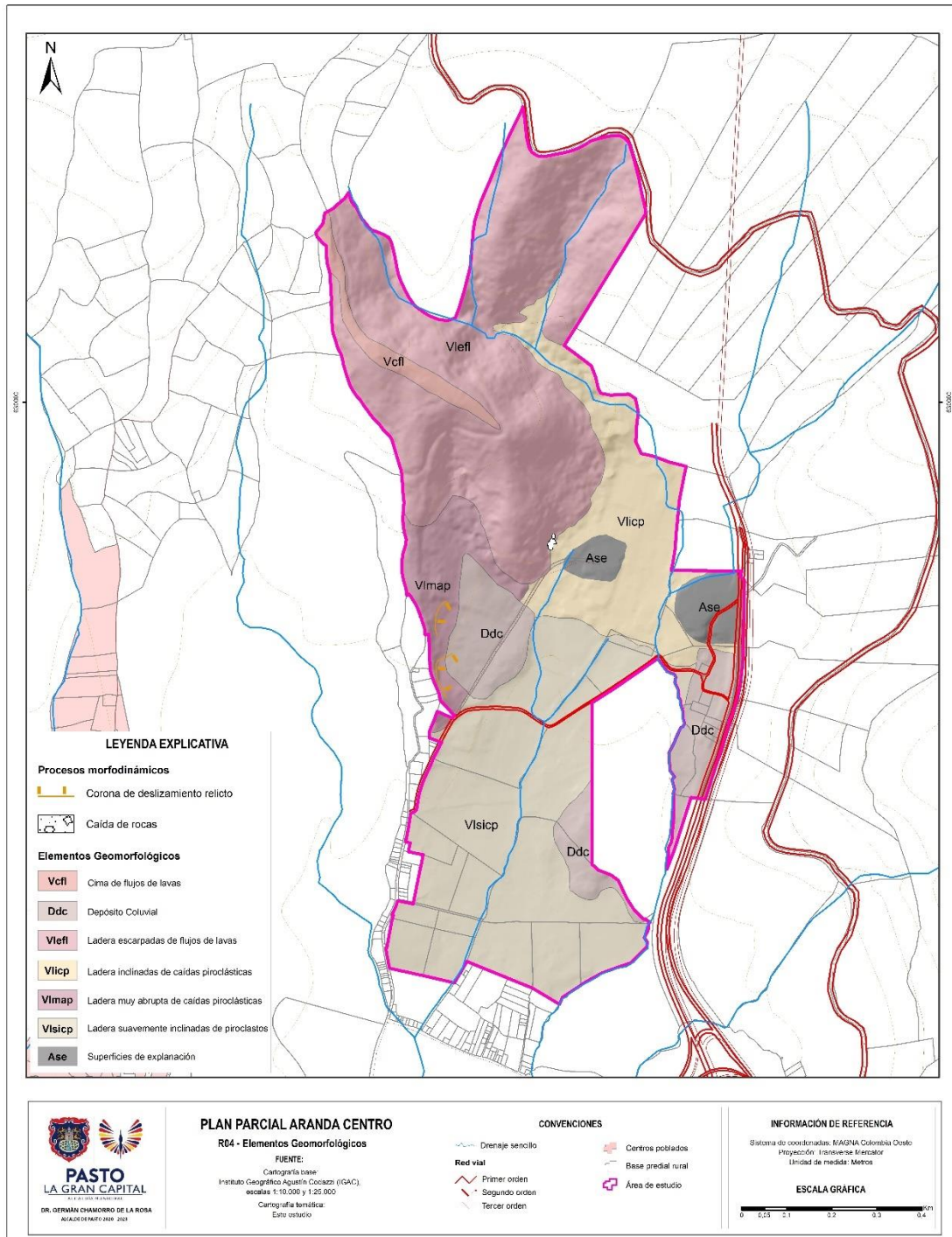
Tabla 59. Cálculo del tiempo de concentración para las cuencas de aporte.

2.2.4.4.3 Susceptibilidad ante inundaciones

El análisis de susceptibilidad ante inundaciones basado en la identificación de sub-unidades geomorfológicas muestra que existen depósitos coluviales (Qco) en el área de estudio, por tanto, se entiende que el fenómeno de inundación tiene la posibilidad de presentarse, razón por la cual, se procede a realizar la identificación de la amenaza ante inundaciones en el predio.



Mapa 32. Geología para ingeniería del área de estudio.



Mapa 33. Geomorfología del área de estudio.

2.2.4.5 Amenaza ante Inundaciones

2.2.4.5.1 Información hidro-climatológica disponible.

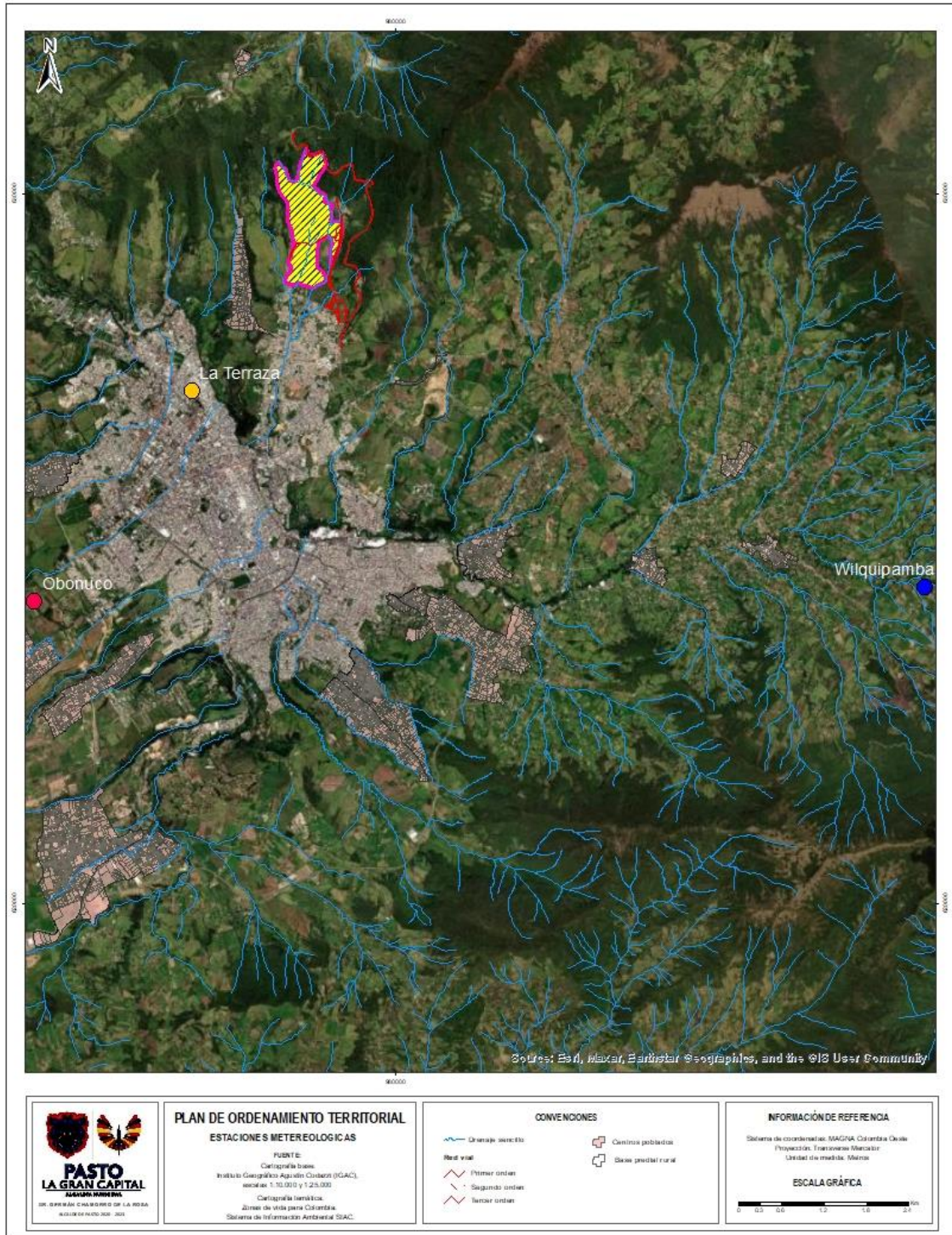
La estimación de la lluvia de proyecto parte del análisis de la precipitación máxima diaria anual de las estaciones meteorológicas pertenecientes al IDEAM, Wilquipamba (52045070), Universidad de Nariño (La Terraza- 52045080) y Obonuco (52045010), considerándose las estaciones más cercanas y con características similares al área de estudio. Para todas las estaciones, se tomó la serie completa de datos, es decir, desde el año de su instalación. En la Tabla 60, se puede observar las coordenadas geográficas de las estaciones analizadas en este estudio y en Mapa 34, se puede observar la localización geográfica de las mismas.

ID	X	Y	Altura m.s.n.m
Wilquipamba	987161.72	624232.91	2850
Universidad de Nariño	977086.59	627234.40	2626
Obonuco	974894.45	624261.32	2710

Tabla 60. Coordenadas geográficas, sistema de referencia Magna Colombia Oeste, estaciones meteorológicas en estudio.

Las series seleccionadas de las estaciones del IDEAM Wilquipamba (1991-2022) y Universidad de Nariño (2005-2022), con códigos 52045070 y 52045080 respectivamente, y un total de 31 y 17 años, los valores de las series se presentan en la Mapa 34. Localización geográfica estaciones IDEAM cercanas al área de estudio.

La serie de la estación de Obonuco ya cuenta con una curva IDF oficial realizada por IDEAM.



Mapa 34. Localización geográfica estaciones IDEAM cercanas al área de estudio.

Año	Pp maxdiaria anual Wilquipamba	Pp maxdiaria anual Universidad de Nariño
1991	35.3	NA*
1992	28.4	NA
1993	30.1	NA
1994	41.1	NA
1995	49	NA
1996	64.2	NA
1997	43.2	NA
1998	39.5	NA
1999	44.3	NA
2000	41.4	NA
2001	39	NA
2002	39.5	NA
2003	44.2	NA
2004	35.3	NA
2005	37.7	34.8
2006	41.9	60
2007	35.1	34.8
2008	57	37.3
2009	48.5	29.1
2010	67.3	37.1
2011	31.7	28.8
2012	30.6	33.9
2013	29.1	43
2014	39.8	30.3
2015	42.2	45.5
2016	30.5	25.2
2017	36.5	35.8
2018	55.6	45.5
2019	44.9	27
2020	32.2	29.2
2021	45.2	33.8

Tabla 61. Serie de Precipitaciones Máximas Diarias.

Nota: NA*: No Asignado, la serie de esa estación no tiene información disponible para esos años.

2.2.4.5.2 Análisis de lluvias máximas.

- Análisis de valores atípicos, Homogeneidad e independencia

El análisis de valores atípicos en las series de máximas dio como resultados que las series de precipitaciones máximas diarias anuales presentan valores atípicos, ya que el máximo del estadístico de la serie se encuentra fuera del rango de la distribución normal para un nivel de significancia del 5%, tal como se muestra en la Tabla 62; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para la estación Wilquipamba, Tabla 63 para la estación Universidad de Nariño.

Valor	Máximo	Minimo
Serie	67.3	28.4
Rango de Aceptación	62.78	25.76

Tabla 62. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Wilquipamba.

Valor	Máximo	Minimo
Serie	60.0	25.2
Rango de Aceptación	55.27	22.26

Tabla 63. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Universidad de Nariño.

Los análisis de Independencias realizados mediante, la prueba de Anderson de las series dio como resultados que los datos de precipitaciones máximas diarias anuales son independientes para las estaciones, con un nivel de significancia del 5 %, en las Figura 30 y Figura 31, se puede apreciar que los coeficientes de autocorrelación se encuentran por lo menos en un 95 % dentro del límite de confianza establecido.

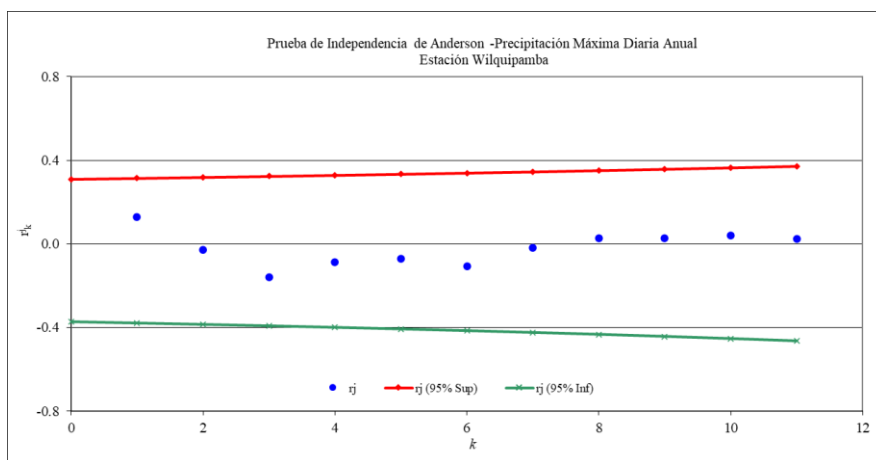


Figura 30. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Wilquipamba.

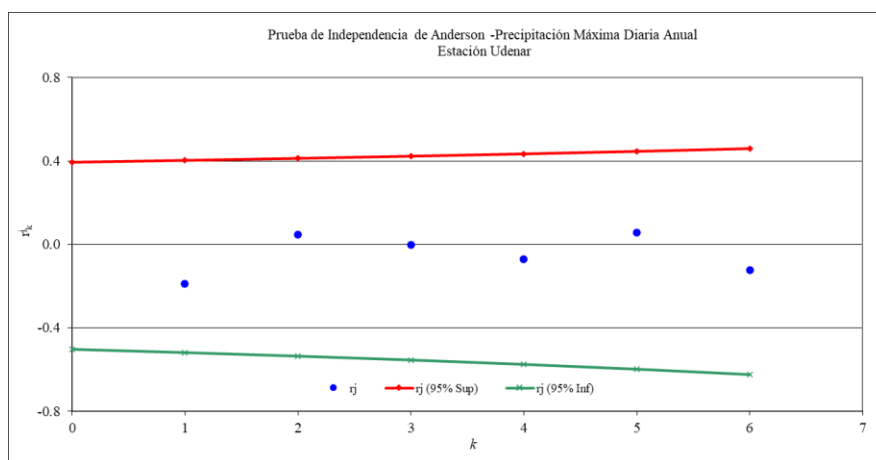


Figura 31. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Universidad de Nariño.

Por su parte la prueba de homogeneidad de la serie Wilquipamba fue realizada con las pruebas de Helmert, t de Student y Cramer, el resultado obtenido indica que los datos de la serie son homogéneos. Los estadísticos de cada una de las pruebas se presentan en la Tabla 64.

Por otro lado, la prueba de homogeneidad de la serie Universidad de Nariño fue realizada con las pruebas de Helmert, t de Student y Cramer, el resultado obtenido por las pruebas de Helmert indica que los datos de la serie son no homogéneos, mientras que las pruebas t de Student y Cramer, considerándose pruebas más rigurosas indican que los datos de la serie son homogéneos. Los estadísticos de cada una de la prueba se presentan en la Tabla 65.

Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación Wilquipamba							
Prueba de Homogeneidad de Helmert			Prueba t de Student		Prueba de Cramer		
Nº de S	Nº de C	S - C	Estadístico t:	-0.17	τ_{60}	-0.02094	
15	16	-1	Grados de Libertad	30	τ_{30}	-0.19083	
Estadístico:			De tabla: t =	2.0400	t_{60}	0.13868	
n	32		El valor absoluto del estadístico t esta entre el rango de aceptación de t para 41 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5%. Por lo tanto la serie es Homogénea		t_{30}	0.71058	
$-(nj-1)^{0.5}$	-5.57				De tabla: t =		2.0400
$+(nj-1)^{0.5}$	5.57						
El estadístico (S - C) no está comprendido entre $-(nj-1)^{0.5}$ y $+(nj-1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie es Homogénea					El valor absoluto del t30 es menor que el valor de tabla de t para 41 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5% y t60 es menor por lo tanto la serie es Homogénea		

Tabla 64. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Wilquipamba.

Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación Universidad de Nariño							
Prueba de Homogeneidad de Helmert			Prueba t de Student		Prueba de Cramer		
Nº de S	Nº de C	S - C	Estadístico t:	0.83	τ_{60}	-0.10353	
5	12	-7	Grados de Libertad	16	τ_{30}	-0.21554	
Estadístico:			De tabla: t =	2.1200	t_{60}	0.46614	
n	18		El valor absoluto del estadístico t esta entre el rango de aceptación de t para 41 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5%. Por lo tanto la serie es Homogénea		t_{30}	0.53952	
$-(nj-1)^{0.5}$	-4.12				De tabla: t =		2.1200
$+(nj-1)^{0.5}$	4.12						
El estadístico (S - C) no está comprendido entre $-(nj-1)^{0.5}$ y $+(nj-1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie es NO Homogénea					El valor absoluto del t30 es menor que el valor de tabla de t para 16 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5% y t60 es menor por lo tanto la serie es Homogénea		

Tabla 65. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Universidad de Nariño.

- Análisis de Frecuencia**

La evaluación del ajuste de distribuciones para realizar el análisis de frecuencia se realizó por medio de los métodos Error Estándar de Ajuste y Gráfico. Entre nueve diferentes distribuciones de probabilidad evaluadas, se encontró que la serie de precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Wilquipamba, se ajustó mejor con la distribución de probabilidades de Gumbel, ajustada por el método de Momentos (utilizando conjuntamente criterios estadísticos y gráficos), los resultados se presentan en la Figura 32 y Tabla 66.

Distribución	Método de Ajuste	E.E.A. [m]
Uniforme	Momentos	3.5369
Uniforme	Máxima Verosimilitud	8.0394
Exponencial β	Momentos y M. Verosimilitud	25.5114
Exponencial x_0 y β	Momentos	2.0513
Exponencial x_0 y β	Máxima Verosimilitud	2.5448
Normal	Momentos L	14.0863
Normal	Momentos y M. Verosimilitud	2.9897
Log Normal 2 parámetros	Momentos y M. Verosimilitud	2.6116
Log Normal 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	2.5328
Gamma de 2 parámetros	Momentos	2.5499
Gamma de 2 parámetros	Máxima Verosimilitud	2.7995
Gamma de 2 parámetros	Momentos L	14.4519
Gamma de 3 parámetros	Momentos	2.2324
Gamma de 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	3.0804
Gamma de 3 parámetros	Momentos de probabilidad pesada	17.2840
Gumbel	Momentos	1.8687
Gumbel	Máxima Verosimilitud	2.1551
Gumbel	Momentos L	14.9031
Gumbel	Máxima Entropía	30.6604

Tabla 66. Valores de Error Estándar de Ajuste de las distribuciones que mejor representan a los datos de la estación Wilquipamba.

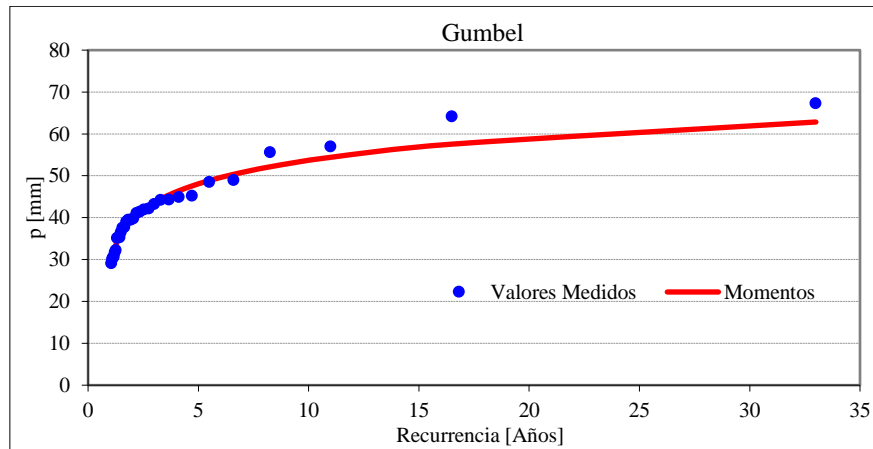


Figura 32. Ajuste gráfico de la distribución Exponencial X_0 y β ajustada por Momentos.

Por otro lado, la evaluación del ajuste de distribuciones para realizar el análisis de frecuencia se realizó por medio de los métodos Error Estándar de Ajuste y Gráfico. Entre nueve diferentes distribuciones de probabilidad evaluadas, se encontró que la serie de precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Universidad de Nariño, se ajustó mejor con la distribución de probabilidades Exponencial β y X_0 , los resultados se presentan en la Tabla 67 y Figura 33.

Distribución	Método de Ajuste	E.E.A. [m]
Uniforme	Momentos	3.8036
Uniforme	Máxima Verosimilitud	8.3644
Exponencial β	Momentos y M. Verosimilitud	20.8625
Exponencial x_0 y β	Momentos	2.5049
Exponencial x_0 y β	Máxima Verosimilitud	2.2842
Normal	Momentos L	3.3969
Normal	Momentos y M. Verosimilitud	3.4206
Log Normal 2 parámetros	Momentos y M. Verosimilitud	3.1358
Log Normal 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	3.2145
Gamma de 2 parámetros	Momentos	3.0526
Gamma de 2 parámetros	Máxima Verosimilitud	3.2887
Gamma de 2 parámetros	Momentos L	2.9390
Gamma de 3 parámetros	Momentos	2.7803
Gamma de 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	3.5675
Gamma de 3 parámetros	Momentos de probabilidad pesada	11.7293
Gumbel	Momentos	2.5266
Gumbel	Máxima Verosimilitud	3.0008
Gumbel	Momentos L	2.2997
Gumbel	Máxima Entropía	37.1373

Tabla 67. Valores de Error Estándar de Ajuste de las distribuciones que mejor representan a los datos de la estación Universidad de Nariño.

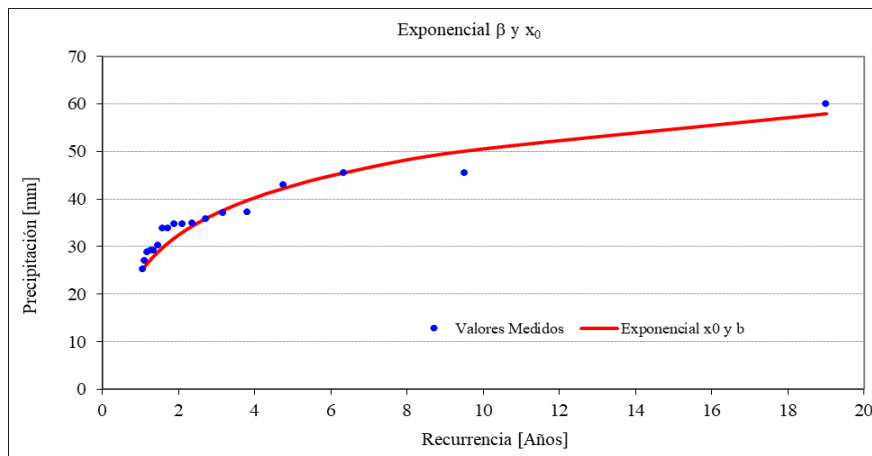


Figura 33. Ajuste gráfico de la distribución Exponencial β y X_0 ajustada por Máxima verosimilitud.

Las precipitaciones máximas diarias anuales para los diferentes tiempos de retorno de la estación Wilquipamba se presentan en la

, y para la estación Universidad de Nariño se presentan en la Tabla 69.

Recurrencia: T	Valor de Precipitación: X_T
	Momentos
2	40
5	48
10	54
20	59
25	61
50	66
100	71

Tabla 68. Precipitación [mm] asociados a distintos tiempos de retorno. Estación Wilquipamba. Distribución: Gumbel ajustada por Momentos.

Recurrencia: T	Valor de Precipitación: X_T
	Máxima Verosimilitud
2	32
5	43
10	51
20	58
25	61
50	69
100	77

Tabla 69. Precipitación [mm] asociados a distintos tiempos de retorno. Estación Universidad de Nariño. Distribución: Exponencial β y X_0 ajustada por Máxima verosimilitud.

- **Construcción Curva Intensidad-Duración-Frecuencia**

La recurrencia de la lluvia analizada, en función de lo requerido será de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Se construyeron las curvas IDF de la estación Wilquipmaba, Universidad de Nariño y se tomó la curva IDF oficial del IDEAM de la estación Obonuco. El objetivo de su estimación fue la verificación del comportamiento local de las lluvias, siendo esta última la adoptada para la estimación de los hietogramas de proyecto, por ser la curva oficial de la estación y estar más cerca al área de estudio

- Curva Ajustada de Forma No Lineal, estación Wilquipamba

$$i = \frac{367 * T_R^{0.1407}}{(D + 9.67)^{0.722}}$$

- Curva Ajustada de Forma No Lineal, estación Universidad de Nariño

$$i = \frac{298.31 * T_R^{0.2032}}{(D + 9.67)^{0.722}}$$

- Curva Ajustada de Forma Lineal, estación Obonuco, en la Tabla 70 se observa los coeficientes para diferentes tiempos de retorno.

$$i = \frac{C1}{(D + X0)^{C2}}$$

TR (años)	C1	X0	C2
2	324.55	9.852	0.755
3	420.001	9.048	0.784
5	541.556	8.702	0.812
10	712.396	8.593	0.841
25	951.158	8.649	0.87
50	1141.572	8.741	0.888
100	1339.746	8.845	0.903

Tabla 70. Coeficientes para diferentes tiempos de retorno, estación Obonuco.
Fuente: IDEAM.

2.2.4.5.3 Hietograma de Proyecto.

Considerando, la discretización temporal interna de la lluvia analizada efectuada mediante la metodología de bloque alterno, la duración crítica de la lluvia y el área de las cuencas. Los hietogramas resultantes de la aplicación de esta metodología para un tiempo de retorno de 2 años se presentan a continuación:

	1	2	3	4	5	6
Duración (min)	5	10	15	20	25	30
Intensidad(mm/h)	42.32	34	28.69	24.98	22.23	20.09
Precipitación (mm)	3.53	5.67	7.17	8.33	9.26	10.04
δP (mm)	3.53	2.14	1.51	1.15	0.93	0.78
Arreglo (1/4)	1.51	3.53	2.14	1.15	0.93	0.78
Atenuación Areal	1.46	3.42	2.07	1.12	0.91	0.76

Tabla 71. Hietograma de Proyecto cuencas La Merced y La Magdalena, Tiempo Retorno 2 años.

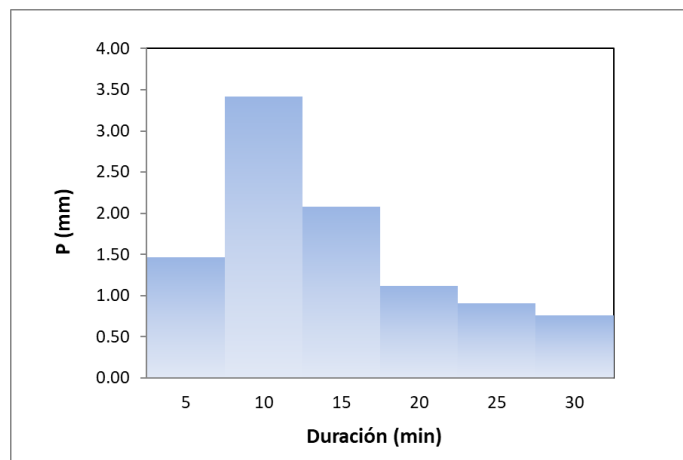


Figura 34. Hietograma de Proyecto Cuencas La Merced y La Magdalena, TR 2 años.

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, se procedió a estimar los hietogramas restantes. Los resultados para los diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 35.

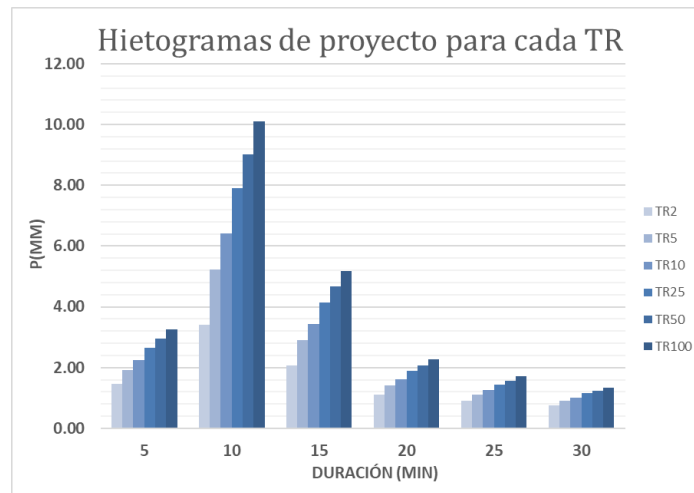


Figura 35. Hietograma de Proyecto cuencas La Merced y La Magdalena, TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Duración (min)	15
Intensidad(mm/hr)	28.69
Precipitación (mm)	7.17
δP (mm)	7.17
Arreglo (1/4)	7.17
Atenuación Areal	6.96

Tabla 72. Hietograma de Proyecto cuenca La Rusia, Tiempo Retorno 2 años.

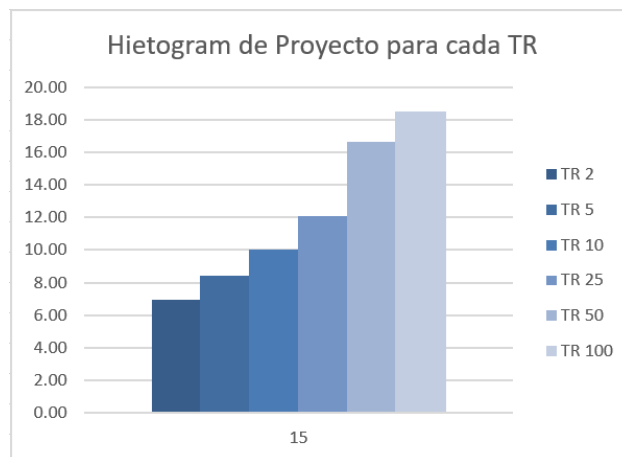


Figura 36. Hietograma de Proyecto Cuenca La Rusia, TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

2.2.4.5.4 Estimación de caudales Máximos.

▪ Estimación CN

Para la estimación del CN se tuvo en cuenta las coberturas de suelo en las cuencas obtenido a partir del procesamiento de imágenes satelitales disponibles en el área de estudio, el detalle de su construcción ver en el componente ambiental del proyecto. En la Figura 37 se presenta de manera esquemática el resultado de la clasificación de suelos por el método S.C.S., con predominancia de coberturas de áreas agrícolas, bosques y territorios agrícolas, el valor de CN (III) crítico empleado para la modelación fue de 82.

El Hidrograma de la cuenca La Merced correspondiente a un Tiempo de Retorno de 2 años se presenta en la Tabla 73 y Figura 38. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 2.4 m³/s.

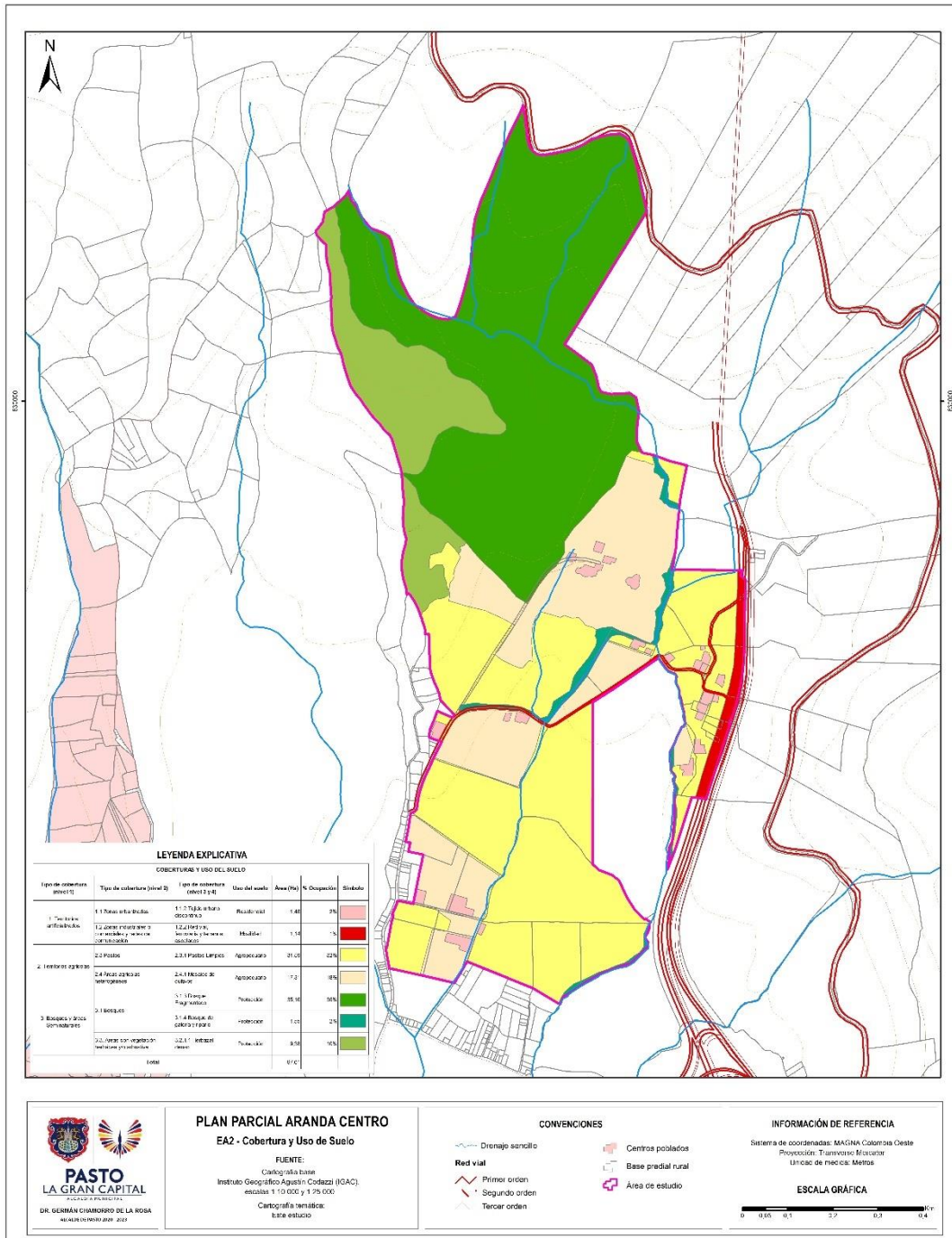


Figura 37. Coberturas de suelo cuencas de aporte Plan Parcial Aranda centro.

Fecha	Hora	Q (m3/s)	Fecha	Hora	Q (m3/s)	Fecha	Hora	Q (m3/s)
10-mar-23	0:00	0	10-mar-23	0:31	2.3	10-mar-23	1:02	0.5
10-mar-23	0:01	0	10-mar-23	0:32	2.4	10-mar-23	1:03	0.4
10-mar-23	0:02	0	10-mar-23	0:33	2.4	10-mar-23	1:04	0.4
10-mar-23	0:03	0	10-mar-23	0:34	2.4	10-mar-23	1:05	0.4
10-mar-23	0:04	0	10-mar-23	0:35	2.4	10-mar-23	1:06	0.3
10-mar-23	0:05	0	10-mar-23	0:36	2.4	10-mar-23	1:07	0.3
10-mar-23	0:06	0	10-mar-23	0:37	2.4	10-mar-23	1:08	0.3
10-mar-23	0:07	0	10-mar-23	0:38	2.3	10-mar-23	1:09	0.2
10-mar-23	0:08	0	10-mar-23	0:39	2.3	10-mar-23	1:10	0.2
10-mar-23	0:09	0	10-mar-23	0:40	2.2	10-mar-23	1:11	0.2
10-mar-23	0:10	0.1	10-mar-23	0:41	2.2	10-mar-23	1:12	0.2
10-mar-23	0:11	0.1	10-mar-23	0:42	2.1	10-mar-23	1:13	0.2
10-mar-23	0:12	0.2	10-mar-23	0:43	2	10-mar-23	1:14	0.2
10-mar-23	0:13	0.2	10-mar-23	0:44	1.9	10-mar-23	1:15	0.1
10-mar-23	0:14	0.3	10-mar-23	0:45	1.8	10-mar-23	1:16	0.1
10-mar-23	0:15	0.4	10-mar-23	0:46	1.7	10-mar-23	1:17	0.1
10-mar-23	0:16	0.5	10-mar-23	0:47	1.6	10-mar-23	1:18	0.1
10-mar-23	0:17	0.6	10-mar-23	0:48	1.5	10-mar-23	1:19	0.1
10-mar-23	0:18	0.7	10-mar-23	0:49	1.4	10-mar-23	1:20	0.1
10-mar-23	0:19	0.9	10-mar-23	0:50	1.3	10-mar-23	1:21	0.1
10-mar-23	0:20	1	10-mar-23	0:51	1.2	10-mar-23	1:22	0.1
10-mar-23	0:21	1.2	10-mar-23	0:52	1.1	10-mar-23	1:23	0.1
10-mar-23	0:22	1.3	10-mar-23	0:53	1	10-mar-23	1:24	0.1
10-mar-23	0:23	1.5	10-mar-23	0:54	0.9	10-mar-23	1:25	0.1
10-mar-23	0:24	1.6	10-mar-23	0:55	0.9	10-mar-23	1:26	0.1
10-mar-23	0:25	1.8	10-mar-23	0:56	0.8	10-mar-23	1:27	0.1
10-mar-23	0:26	1.9	10-mar-23	0:57	0.7	10-mar-23	1:28	0
10-mar-23	0:27	2	10-mar-23	0:58	0.7	10-mar-23	1:29	0
10-mar-23	0:28	2.1	10-mar-23	0:59	0.6	10-mar-23	1:30	0
10-mar-23	0:29	2.2	10-mar-23	1:00	0.5			
10-mar-23	0:30	2.3	10-mar-23	1:01	0.5			

Tabla 73. Hidrograma de salida cuenca La Merced, TR de 2 años.

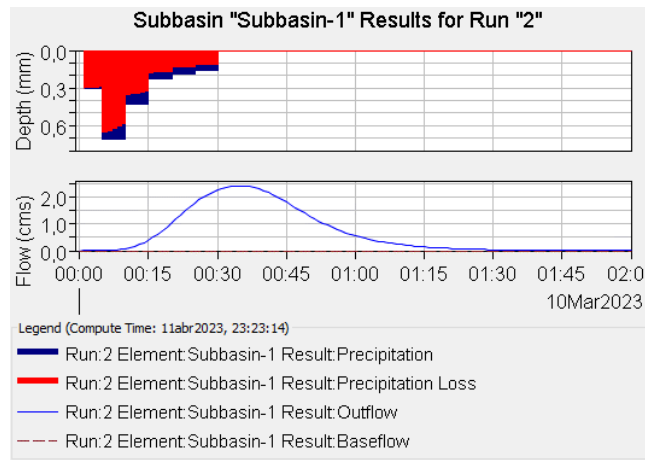


Figura 38. Caudal máximo cuenca La Merced, para una lluvia de TR 2 años.

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, se procedió a estimar los hidrogramas restantes. Los resultados para los diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 39.

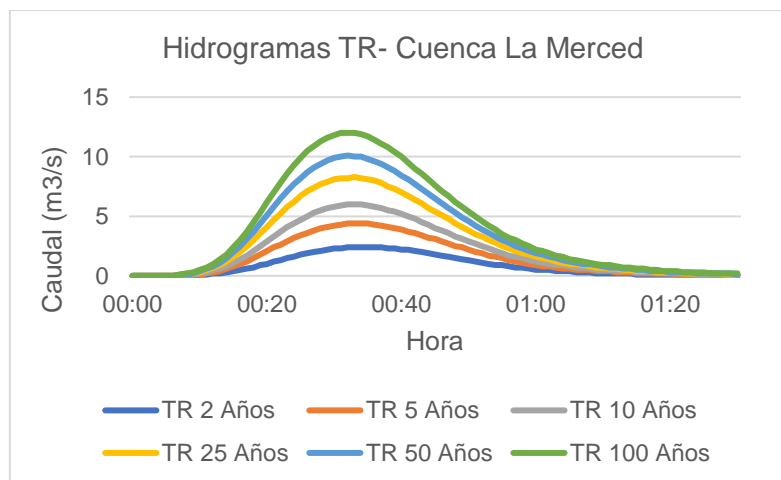


Figura 39. Hidrogramas para diferentes tiempos de retorno – cuenca La Merced.

El resumen de los caudales líquidos obtenidos para la cuenca La Merced se presentan en la

Tabla 74.

Tiempo de Retorno (Años)	La Merced (m ³ /s)
2	2.4
5	4.4
10	6.0
25	8.3
50	10.1
100	12.0

Tabla 74. Resumen de caudales líquidos cuenca La Merced, asociados a diferentes tiempos de retorno.

El hidrograma de la cuenca La Rusia correspondiente a un Tiempo de Retorno de 2 años se presenta en la Figura 40 y *Tabla 75*. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 0.5 m³/s.

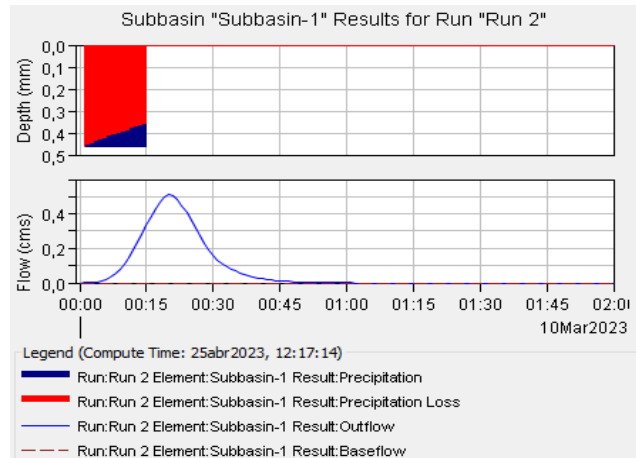


Figura 40. Caudal máximo cuenca La Rusia, para una lluvia de TR 2 años.

Fecha	Hora	Q (m3/s)	Fecha	Hora	Q (m3/s)
10-mar-23	0:00	0	10-mar-23	0:31	0.1
10-mar-23	0:01	0	10-mar-23	0:32	0.1
10-mar-23	0:02	0	10-mar-23	0:33	0.1
10-mar-23	0:03	0	10-mar-23	0:34	0.1
10-mar-23	0:04	0	10-mar-23	0:35	0.1
10-mar-23	0:05	0	10-mar-23	0:36	0.1
10-mar-23	0:06	0	10-mar-23	0:37	0
10-mar-23	0:07	0	10-mar-23	0:38	0
10-mar-23	0:08	0.1	10-mar-23	0:39	0
10-mar-23	0:09	0.1	10-mar-23	0:40	0
10-mar-23	0:10	0.1	10-mar-23	0:41	0
10-mar-23	0:11	0.1	10-mar-23	0:42	0
10-mar-23	0:12	0.2	10-mar-23	0:43	0
10-mar-23	0:13	0.2	10-mar-23	0:44	0
10-mar-23	0:14	0.3	10-mar-23	0:45	0
10-mar-23	0:15	0.3	10-mar-23	0:46	0
10-mar-23	0:16	0.4	10-mar-23	0:47	0
10-mar-23	0:17	0.4	10-mar-23	0:48	0
10-mar-23	0:18	0.5	10-mar-23	0:49	0
10-mar-23	0:19	0.5	10-mar-23	0:50	0
10-mar-23	0:20	0.5	10-mar-23	0:51	0
10-mar-23	0:21	0.5	10-mar-23	0:52	0
10-mar-23	0:22	0.5	10-mar-23	0:53	0
10-mar-23	0:23	0.4	10-mar-23	0:54	0
10-mar-23	0:24	0.4	10-mar-23	0:55	0
10-mar-23	0:25	0.4	10-mar-23	0:56	0
10-mar-23	0:26	0.3	10-mar-23	0:57	0
10-mar-23	0:27	0.3	10-mar-23	0:58	0
10-mar-23	0:28	0.2	10-mar-23	0:59	0
10-mar-23	0:29	0.2	10-mar-23	1:00	0
10-mar-23	0:30	0.2			

Tabla 75. Hidrograma de salida cuenca La Rusia, TR de 2 años.

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, se procedió a estimar los hidrogramas restantes. Los resultados para los diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 41.

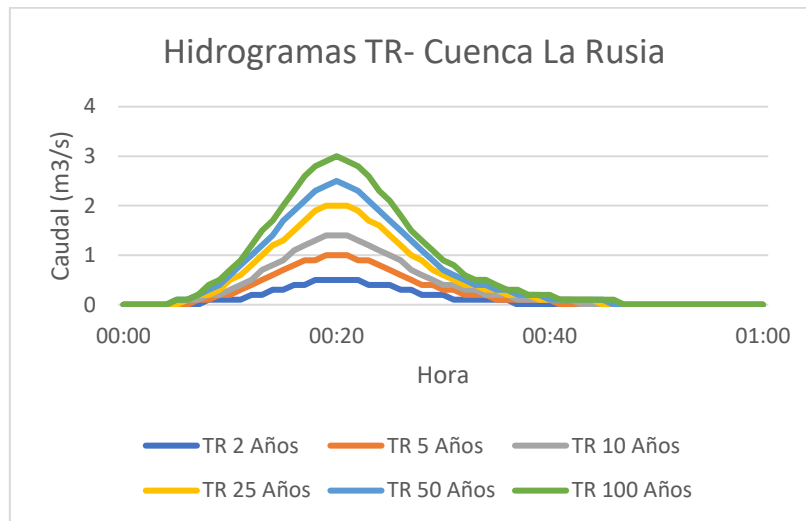


Figura 41. Hidrogramas para diferentes tiempos de retorno – cuenca La Rusia.

El resumen de los caudales líquidos obtenidos para la cuenca La Rusia se presentan en la Tabla 76.

Tiempo de Retorno (Años)	La Rusia (m ³ /s)
2	0.5
5	1
10	1.4
25	2.0
50	2.5
100	3.0

Tabla 76. Resumen de caudales líquidos cuenca La Rusia, asociados a diferentes tiempos de retorno.

El hidrograma de la cuenca La Magdalena correspondiente a un Tiempo de Retorno de 2 años se presenta en la Figura 42 y Tabla 77. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 1 m³/s.

Fecha	Hora	Q (m3/s)	Fecha	Hora	Q (m3/s)	Fecha	Hora	Q (m3/s)
10-mar-23	0:00	0	10-mar-23	0:31	1	10-mar-23	1:02	0,2
10-mar-23	0:01	0	10-mar-23	0:32	1	10-mar-23	1:03	0,2
10-mar-23	0:02	0	10-mar-23	0:33	1	10-mar-23	1:04	0,2
10-mar-23	0:03	0	10-mar-23	0:34	1	10-mar-23	1:05	0,2
10-mar-23	0:04	0	10-mar-23	0:35	1	10-mar-23	1:06	0,1
10-mar-23	0:05	0	10-mar-23	0:36	1	10-mar-23	1:07	0,1
10-mar-23	0:06	0	10-mar-23	0:37	1	10-mar-23	1:08	0,1
10-mar-23	0:07	0	10-mar-23	0:38	1	10-mar-23	1:09	0,1
10-mar-23	0:08	0	10-mar-23	0:39	1	10-mar-23	1:10	0,1
10-mar-23	0:09	0	10-mar-23	0:40	1	10-mar-23	1:11	0,1
10-mar-23	0:10	0	10-mar-23	0:41	0,9	10-mar-23	1:12	0,1
10-mar-23	0:11	0	10-mar-23	0:42	0,9	10-mar-23	1:13	0,1
10-mar-23	0:12	0,1	10-mar-23	0:43	0,8	10-mar-23	1:14	0,1
10-mar-23	0:13	0,1	10-mar-23	0:44	0,8	10-mar-23	1:15	0,1
10-mar-23	0:14	0,1	10-mar-23	0:45	0,8	10-mar-23	1:16	0,1
10-mar-23	0:15	0,2	10-mar-23	0:46	0,7	10-mar-23	1:17	0,1
10-mar-23	0:16	0,2	10-mar-23	0:47	0,7	10-mar-23	1:18	0
10-mar-23	0:17	0,3	10-mar-23	0:48	0,6	10-mar-23	1:19	0
10-mar-23	0:18	0,3	10-mar-23	0:49	0,6	10-mar-23	1:20	0
10-mar-23	0:19	0,4	10-mar-23	0:50	0,6	10-mar-23	1:21	0
10-mar-23	0:20	0,4	10-mar-23	0:51	0,5	10-mar-23	1:22	0
10-mar-23	0:21	0,5	10-mar-23	0:52	0,5	10-mar-23	1:23	0
10-mar-23	0:22	0,6	10-mar-23	0:53	0,4	10-mar-23	1:24	0
10-mar-23	0:23	0,6	10-mar-23	0:54	0,4	10-mar-23	1:25	0
10-mar-23	0:24	0,7	10-mar-23	0:55	0,4	10-mar-23	1:26	0
10-mar-23	0:25	0,8	10-mar-23	0:56	0,3	10-mar-23	1:27	0
10-mar-23	0:26	0,8	10-mar-23	0:57	0,3	10-mar-23	1:28	0
10-mar-23	0:27	0,9	10-mar-23	0:58	0,3	10-mar-23	1:29	0
10-mar-23	0:28	0,9	10-mar-23	0:59	0,3	10-mar-23	1:30	0
10-mar-23	0:29	0,9	10-mar-23	1:00	0,2			
10-mar-23	0:30	1	10-mar-23	1:01	0,2			

Tabla 77. Hidrograma de salida cuenca La Magdalena, TR de 2 años.

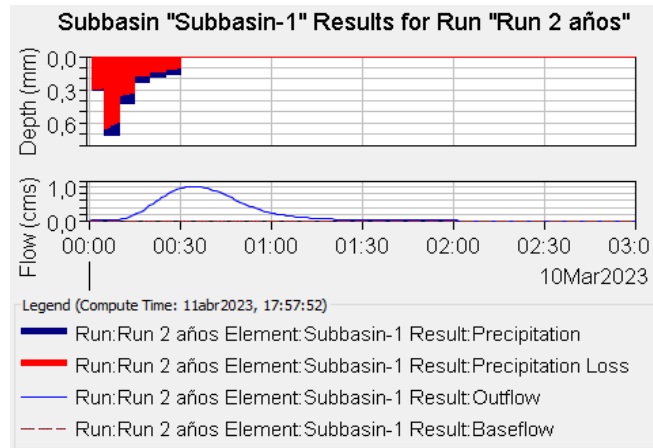


Figura 42. Caudal máximo cuenca La Magdalena, para una lluvia de TR 2 años.

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, se procedió a estimar los hidrogramas restantes. Los resultados para los diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 43.

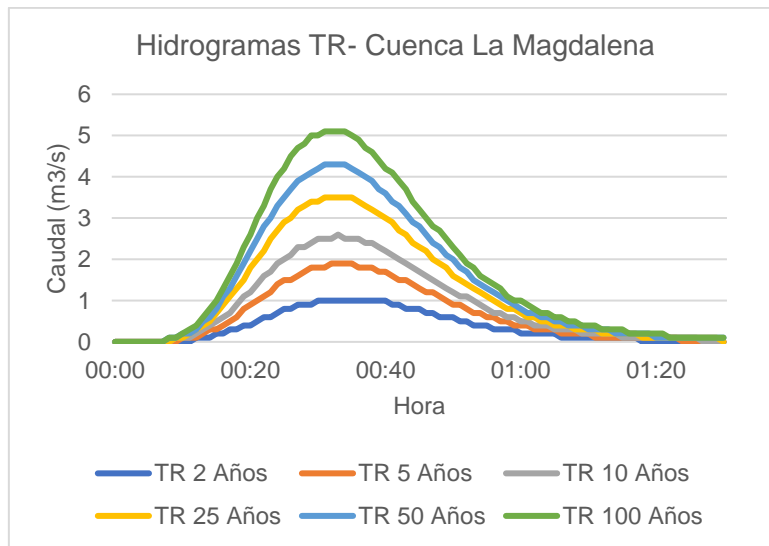


Figura 43. Hidrogramas para diferentes tiempos de retorno – cuenca La Magdalena.

El resumen de los caudales líquidos obtenidos para la cuenca La Magdalena se presentan en la Tabla 78.

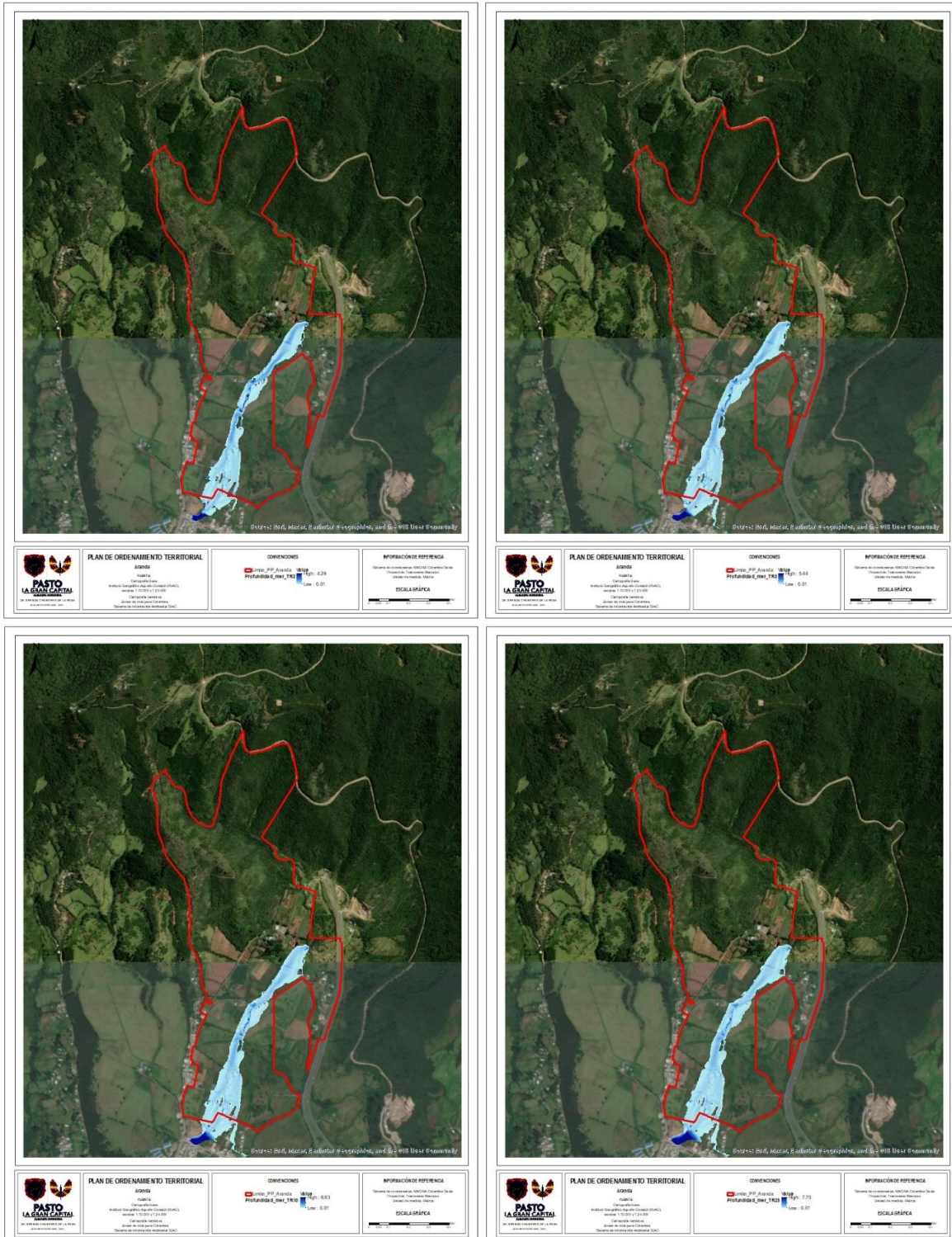
Tiempo de Retorno (Años)	La Magdalena (m ³ /s)
2	1
5	1.9
10	2.6
25	3.5
50	4.3
100	5.1

Tabla 78. Resumen de caudales líquidos cuenca La Magdalena, asociados a diferentes tiempos de retorno.

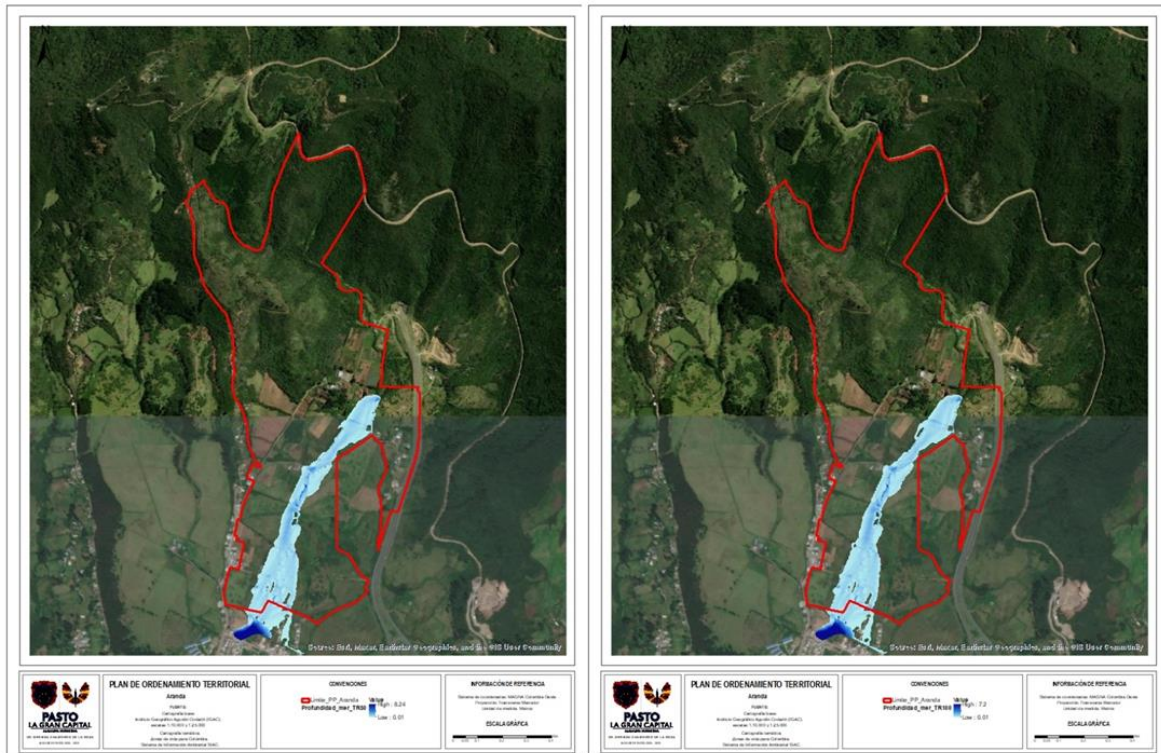
2.2.4.5.5 Modelamiento hidráulico 2D

Los resultados de las máximas profundidades de flujo con respecto a las simulaciones planteadas para los TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 se presentan en la Mapa 35 a Mapa 46, presentando un valor máximo de 8.24, 2.0 m y 4.3 m para La Merced, La Rusia y La Magdalena respectivamente. En cuanto a el resultado de velocidades máximas de flujo, siendo 3.31 m/s, 4.3 m/s y 6.8 m/s para La Merced, La Rusia y La Magdalena respectivamente el valor más elevado.

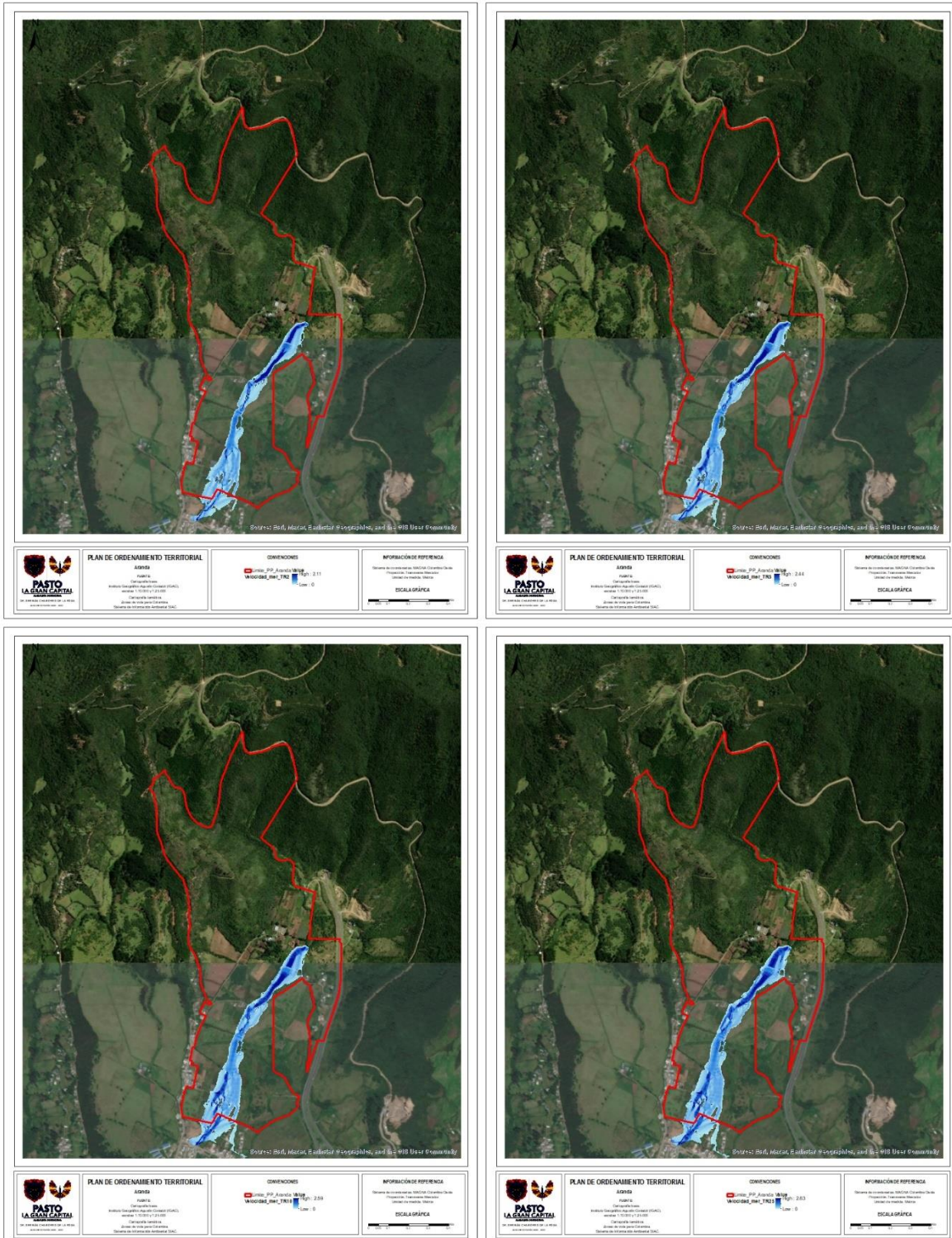
Cabe destacar que, los valores de velocidades máximas, se presentaron en los tramos de mayor pendiente del cauce, lo cual, es coherente con la literatura del comportamiento de flujos en terrenos con altas pendientes. Por su parte, la zona que se presenta inundada, aguas abajo corresponde a una llanura de inundación de las quebradas y como se puede observar en las figuras y sus convenciones, las láminas de flujo son muy bajas con valores entre 0.03 – 0.5 m aproximadamente, luego esta es disipada y, por tanto, las velocidades en esta zona se encuentran en un rango de 0.1 a 0.5 m/s.



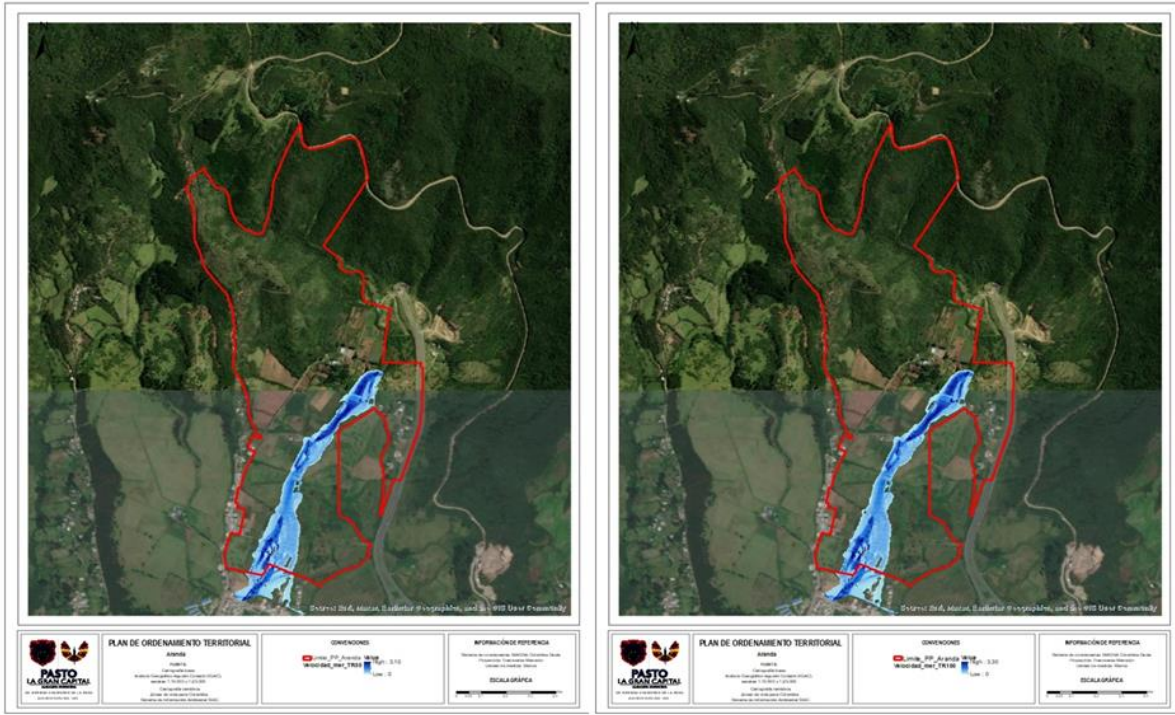
Mapa 35. Profundidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Merced.



Mapa 36. Resultados de profundidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Merced.



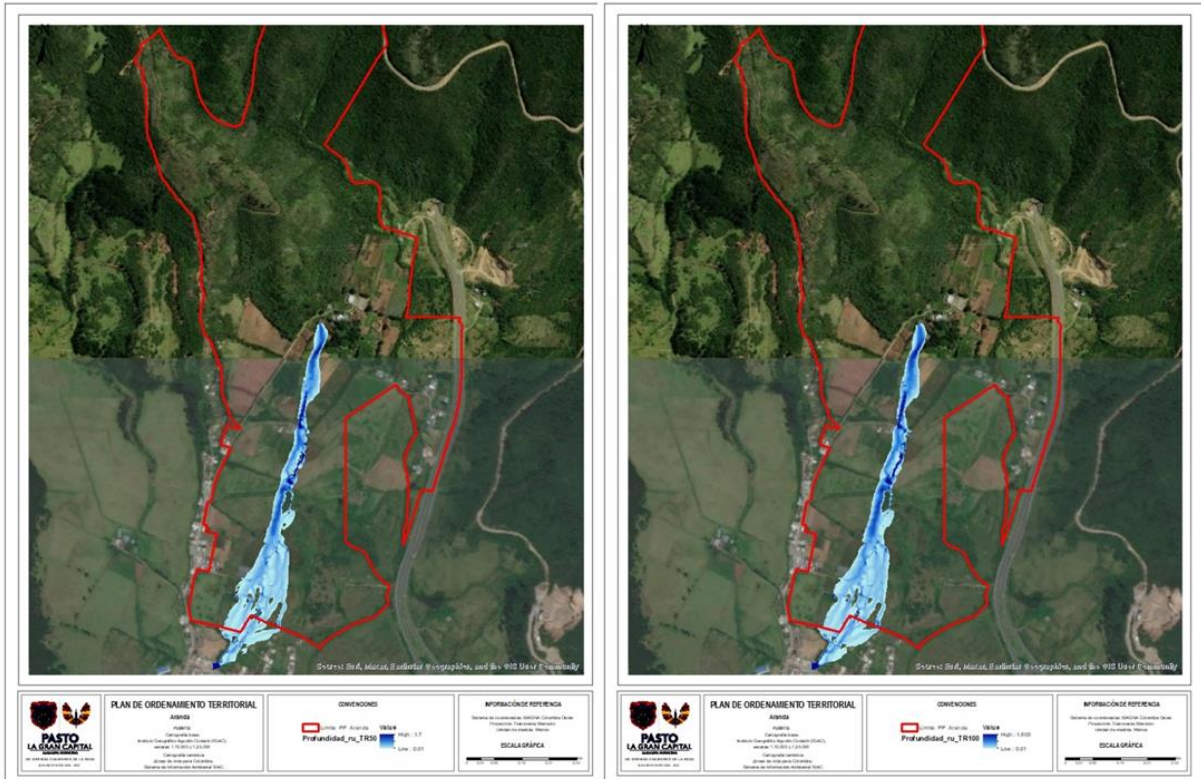
Mapa 37. Resultados de velocidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Merced.



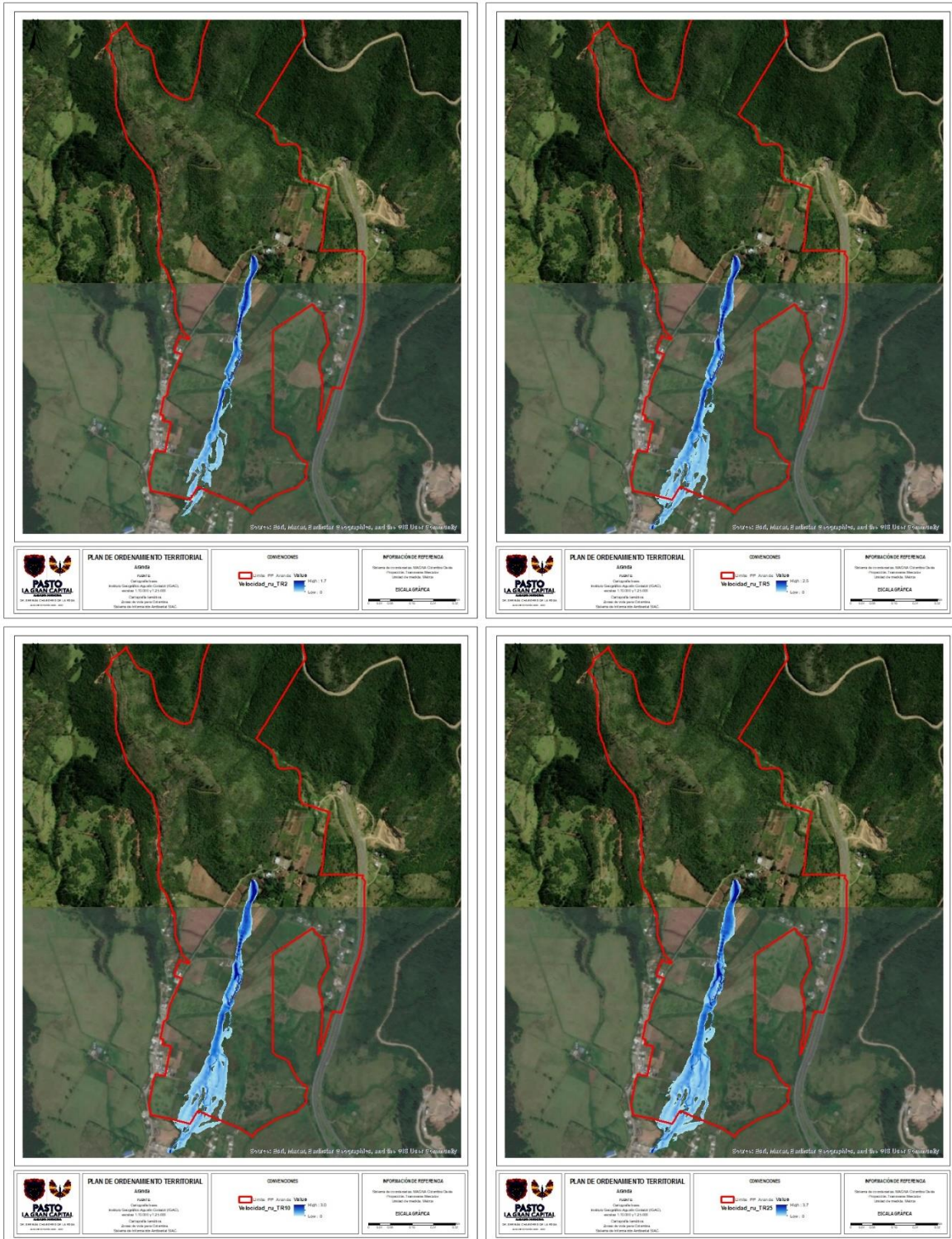
Mapa 38. Resultados de velocidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Merced.



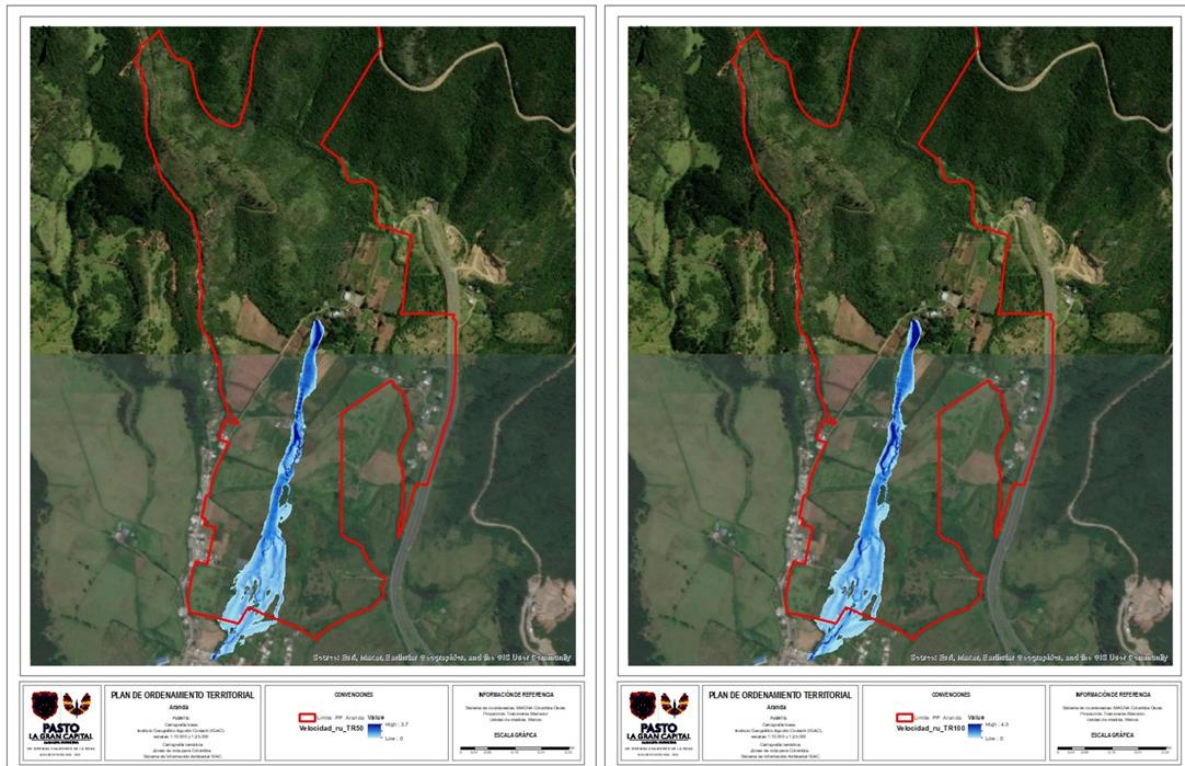
Mapa 39. Profundidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Rusia.



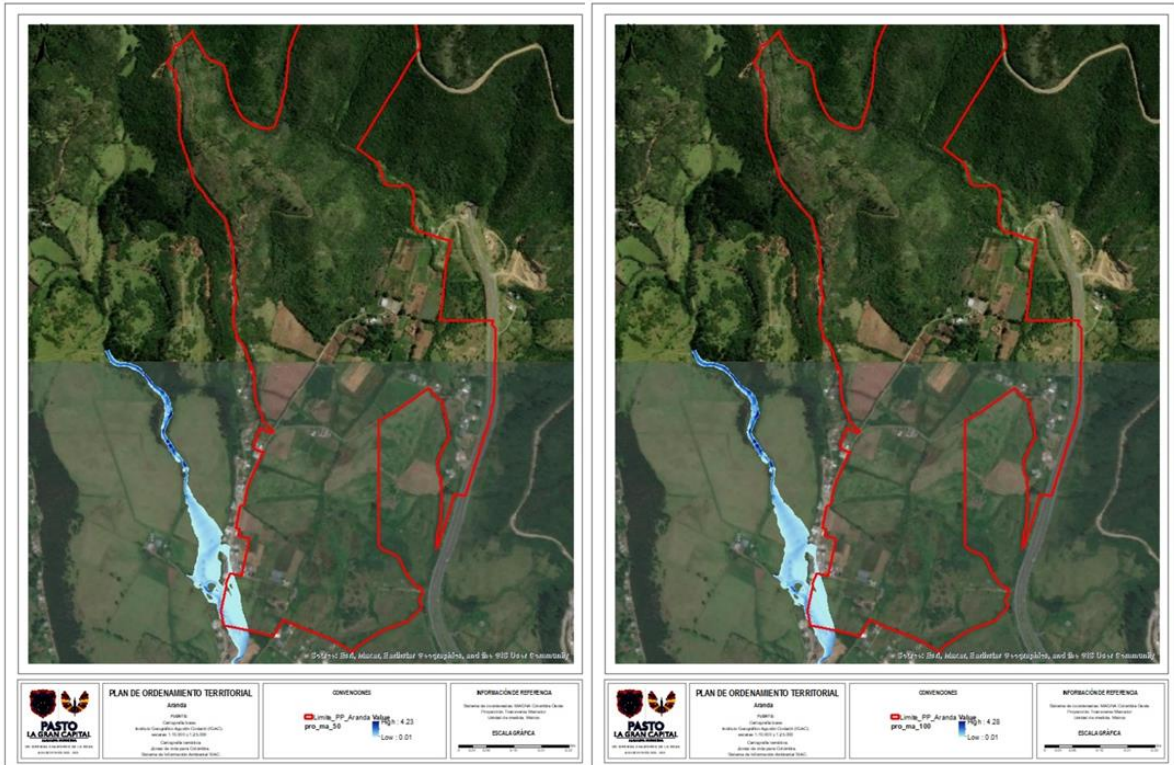
Mapa 40. Resultados de profundidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Rusia.



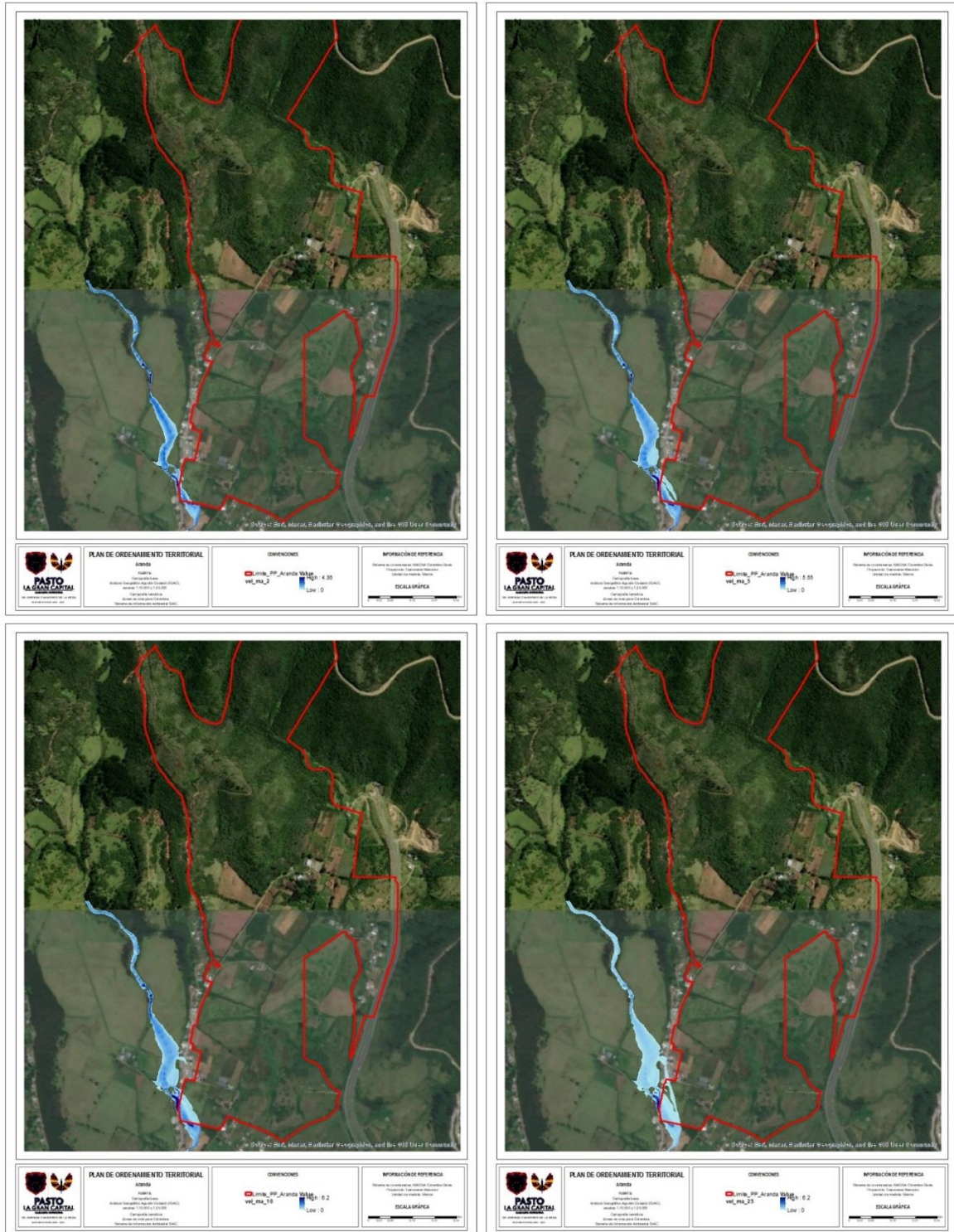
Mapa 41. Resultados de velocidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Rusia.



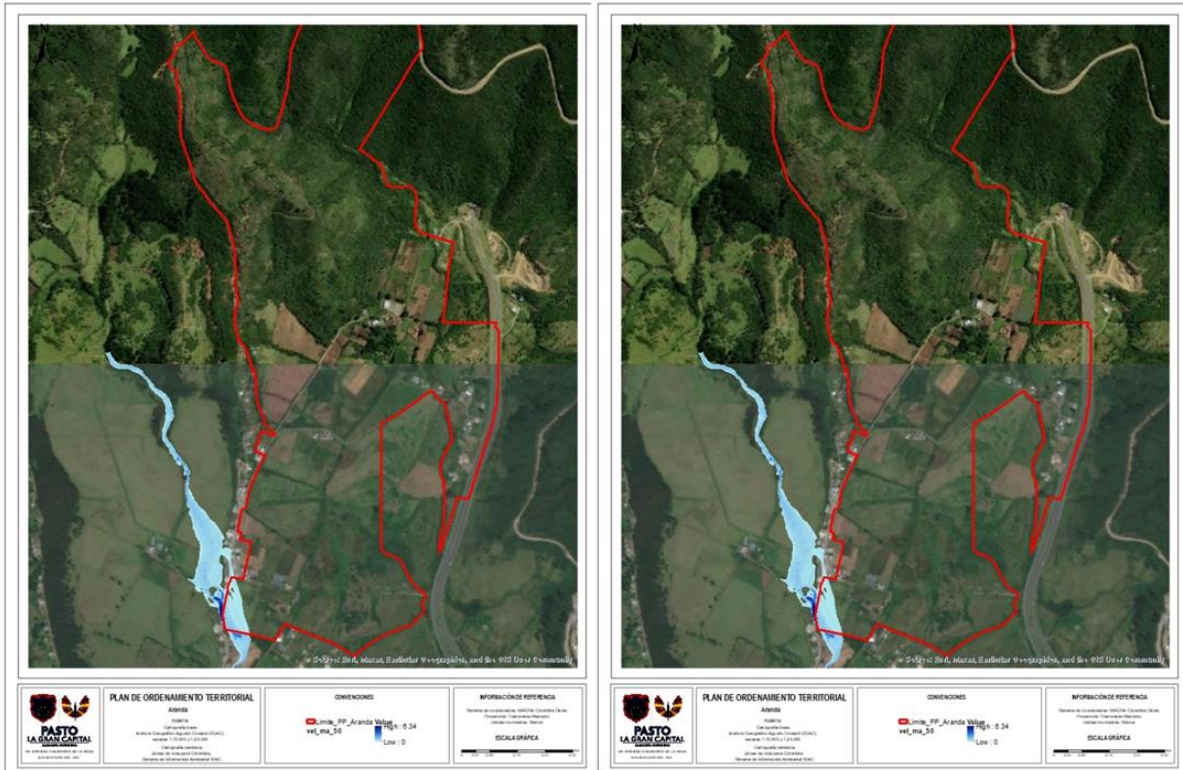
Mapa 42. Resultados de velocidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Rusia.



Mapa 44. Resultados de profundidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Magdalena.



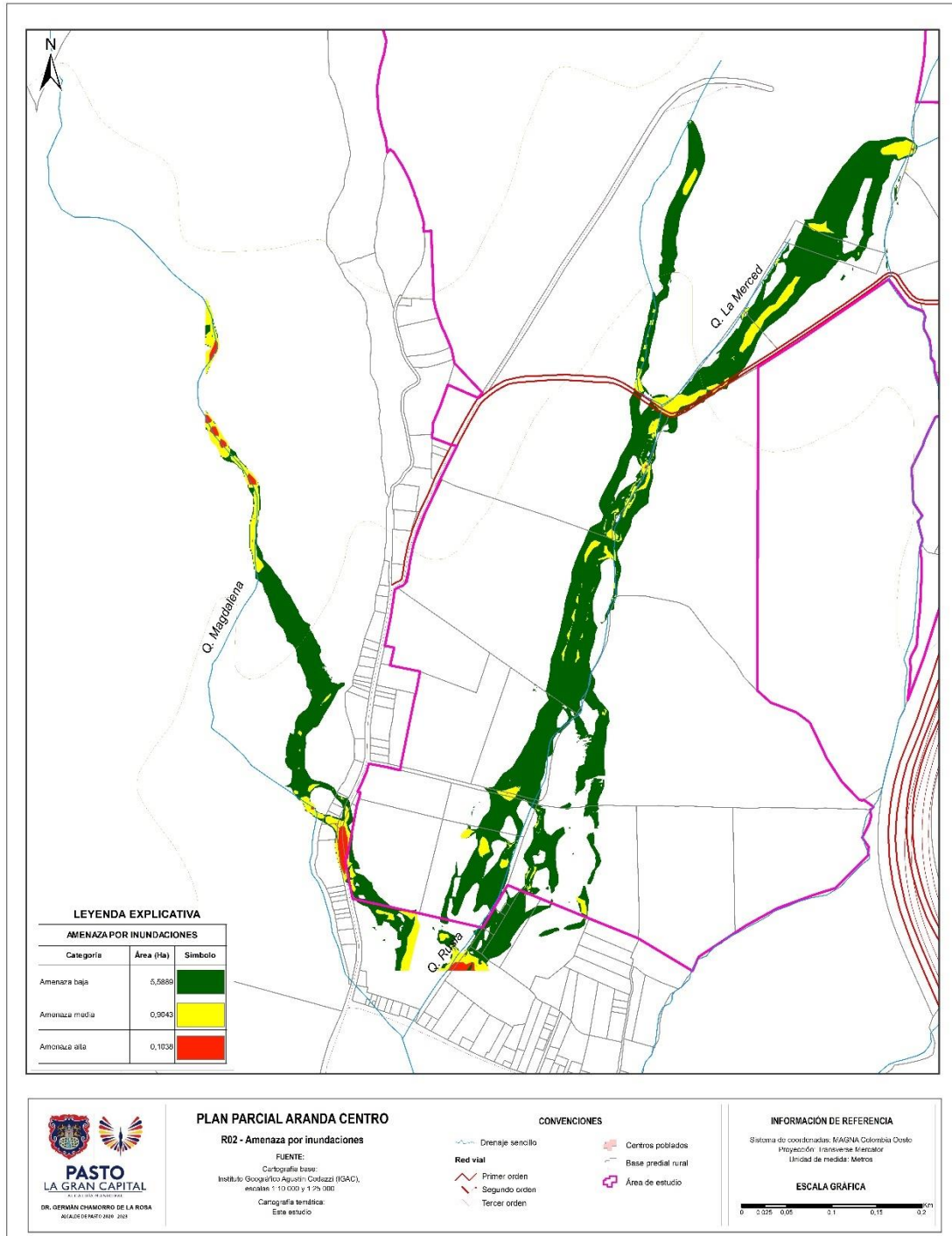
Mapa 45. Resultados de velocidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años - Cuenca La Magdalena.



Mapa 46. Resultados de velocidad de flujo para TR 50 y 100 años - Cuenca La Magdalena.

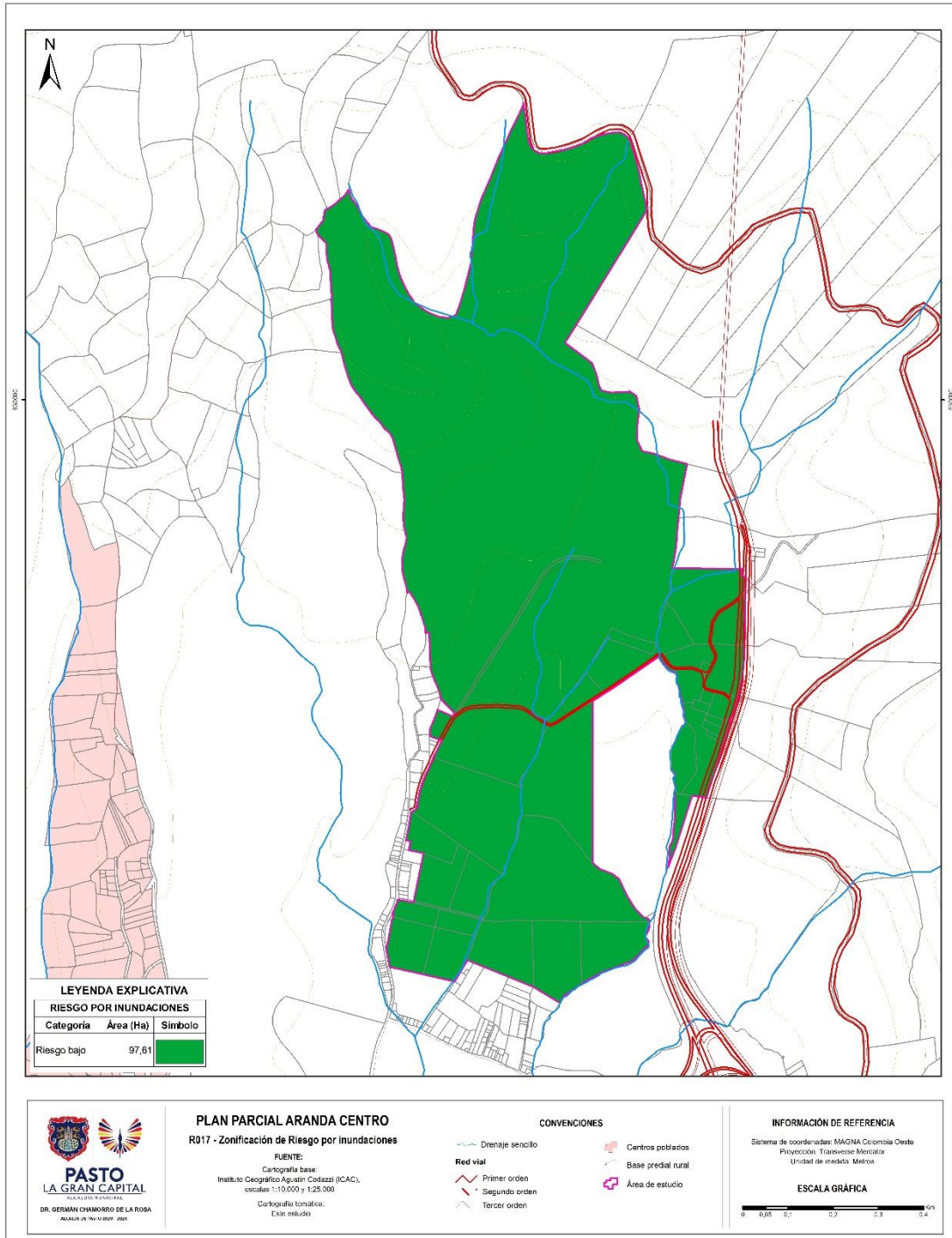
2.2.4.5.6 Amenaza Por inundación.

En el Mapa 47, se presenta los niveles de amenaza por fenómeno de inundación obtenidos a través de la metodología propuesta y teniendo como insumo la simulación hidráulica anteriormente presentada.



Mapa 47. Amenaza por inundación PPAC.

No se presentan elementos expuestos a amenaza media o alta, por tal motivo no se realiza análisis de vulnerabilidad y el riesgo del área de estudio es bajo.



Mapa 48. Zonificación de Riesgo por inundaciones.

2.2.5 Riesgo por flujo torrencial

2.2.5.1 Metodología

2.2.5.1.1 Caracterización fisiográfica de la cuenca de aporte

La metodología utilizada para la caracterización fisiográfica de las cuencas de aporte esta descrita en el acápite de inundaciones.

2.2.5.1.2 Susceptibilidad

Para la zonificación de susceptibilidad se clasifican las geoformas indicativas siguiendo las recomendaciones de Ramos et al., (2021) la cual se realiza con base en la caracterización de la edad relativa de la geoforma, el ambiente de formación, y la cercanía al cauce original además de la utilización de índices morfométricos de las cuencas de aporte tales como; índice de Melton, longitud, relieve, área, integral hipsométrica, relación de bifurcación y coeficiente de torrencialidad. Finalmente, si estos mostraran susceptibilidad ante el fenómeno, se procederá a la definición de la amenaza ante flujos torrencial

- **Índice de Melton.**

Al descubrir que los abanicos dominados por flujos de detritos están asociados con cuencas pequeñas y de relieve alto, Melton propuso un índice adimensional expresando la robustez de la cuenca, dirigido a clasificar abanicos de acuerdo con las características de la cuenca corriente arriba (Santangelo, y otros, 2012). Se define como el relieve de la cuenca dividido por la raíz cuadrada del área de la misma:

$$IM = (h_{max} - h_{min}) * S^{-0.5}$$

Donde:

IM: Índice de Melton

h_{max} : altura máxima de la cuenca en Km

h_{min} : altura mínima de la cuenca en Km

S: Superficie de la cuenca (Km²)

Según la literatura menciona, que las cuencas que presente un IM > que 0.5 o 0.6, tienen predominancia de flujo de detritos, entre 0.3 y 0.6 predominan flujos hiperconcentrados y menores que 0.3 predominan inundaciones o flujos de corriente. Según (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2021), menciona que, para Colombia el rango del IM, se encuentra entre 0.15 - 0.91 para cuencas con ocurrencia de flujo de lodos y detritos, y 0.06 - 0.50 para cuencas con predominancia de flujos hiperconcentrados. Este rango amplio adoptado para Colombia, depende del contexto geológico e hidroclimático de cada región, y se debe verificar los resultados mediante características como; geología, antecedentes de torrencialidad y condiciones hidroclimatológicas.

- **Longitud de la cuenca.**

Está definido como la distancia planimétrica en línea recta entre la punta del abanico y el punto más alejado sobre los límites de la cuenca. Para Colombia los valores de este índice están entre 0 - 13 km en cuencas con predominancia de flujos de detritos (incluyendo flujos de lodos) y entre 0-21 km para cuencas con ocurrencia de flujos hiperconcentrados.

- **Relación de relieve.**

Este índice se define como la relación entre la diferencia de la cota máxima y mínima (relieve) [km] y la longitud de la cuenca [km]. permite la comparación entre cuencas a pesar de las diferencias de escala topográfica; además, es un parámetro usado para describir la movilidad de material desde su punto de inicio hasta su frente de disposición (Chen & Yu, 2011). El rango de valores de la relación de relieve para cuencas que presentan flujos de detritos está entre 0,15 y 0,70, mientras que, para flujos hiperconcentrados se encuentra entre 0,21 y 0,22. Para Colombia, se encontraron valores entre 0,08 y 0,43 para cuencas con desarrollo de flujos de detritos, entre 0,08 y 0,27 para cuencas con flujos de lodos y entre 0,03 y 0,27 para cuencas con ocurrencia de flujos hiperconcentrados.

- **Área.**

Corresponde al área plana en proyección horizontal de la cuenca y es ampliamente usado como índice morfométrico para identificar la torrencialidad. En la literatura se encuentran diversos rangos, igualmente, para Colombia estos valores varían ampliamente, pero en general cuencas menores a 20 km² suelen presentar flujos de detritos con mayor probabilidad.

- **Integral hipsométrica.**

La integral hipsométrica es ampliamente usada para la caracterización de la actividad tectónica reciente (expresada mediante valores altos, $IH > 0.5$). Además, este índice es frecuentemente usado para evaluar de forma general la susceptibilidad por avenidas torrenciales, ya que permite determinar la interacción entre la erosión y la tectónica reciente.

Según (SGC, 2021), la IH puede caracterizarse para tres rangos: $IH < 0.4$ representa un paisaje senil donde predominan los procesos de degradación, $0.4 < IH < 0.5$ se trata de un paisaje en equilibrio (entre levantamiento tectónico y erosión), y $IH > 0.5$ dan cuenta de un paisaje juvenil con actividad tectónica reciente. En Colombia las cuencas donde ocurren avenidas torrenciales se encuentran en el rango de los paisajes en equilibrio y los paisajes juveniles, los diferentes tipos de curvas se presentan en la Figura 44.

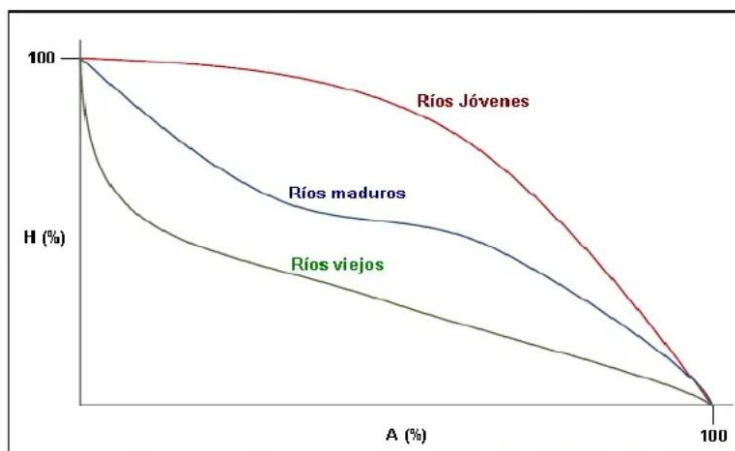


Figura 44. Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río.

Fuente: Morfología de las cuencas hidrográficas. Ibanez, Sara. 2011.

Para la elaboración de la integral hipsométrica, se utilizó el DEM de Alos Palsar, disponible en la página de Vertex Alaska, con resolución de 12.5 m, y se procedió a cortar este para cada cuenca. Posteriormente, se utilizó la herramienta "reclasificar" de ArcToolbox, y se clasificó en 10 intervalos iguales, luego la tabla que se generó se la exportó y finalmente se procesó la información en Excel.

- **Coefficiente de torrencialidad.**

Este índice es un indicador de la erodabilidad lineal y la capacidad de descarga de una cuenca. Se determina a partir de la relación entre el número total de cursos de primer orden (N_{c1}) y el área total de la cuenca (A) (Camino, y otros, 2018). A mayor número de cursos de primer orden y menor superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Camino *et al.*, 2018; López Bermúdez y Romero Díaz, 1987). Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad; en otras palabras, los cursos de orden 1 son los de mayor importancia en la generación de flujos torrenciales y de inundaciones aluvionales veloces (Busnelli & Horta, 2014).

Los rangos propios para las cuencas colombianas se presentan de acuerdo con el tipo de flujo: flujo de detritos 0.38 – 26.90, flujo de lodos: 1.01– 21.51 y flujos hiperconcentrados: 0.37 a 18.01.

$$Ct = N_{c1}/A$$

Donde:

N_{c1} : número total de cauces de primer orden

A: Área total de la cuenca

Ct: Coeficiente de Torrencialidad

2.2.5.2 Amenaza

Las avenidas Torrenciales, en ocasiones denominadas crecientes, flujo de lodos, crecidas, o torrentes, son una amenaza en cuencas de alta montaña, debido a sus características puede causar grandes daños en infraestructura y pérdida de vidas humanas.

Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes desniveles y que por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos desencadenan el fenómeno. En general, son producto de la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina (Urrea & Vásquez, 1996); (Rendón, 1997); (OSSO – La Red, 2003); (Castro, 2007).

Por su parte, la guía de avenidas torrenciales (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2021), no difiere en gran magnitud de lo anteriormente descrito. Lo define como un flujo rápido que transita por cauces permanentes o intermitentes con pendientes de cauce altas y son producidos generalmente por efecto de lluvias intensas. Involucra el transporte de agua y

sedimentos en una cantidad significativa, pero de diferentes proporciones. Donde el aporte de sólidos puede provenir de las laderas adyacentes o del lecho del cauce.

Aunque la duración de estos eventos varía entre pocos minutos a varios días, su rápida manifestación y altas velocidades le confieren una alta peligrosidad debido a que no dan tiempo de reacción a las personas que se encuentran en el área de influencia del evento, generando así situaciones desastrosas con pérdidas de vidas humanas y destrucción de viviendas, estructuras, cultivos, carreteras, etc. (Urrea & Vásquez, 1996); (Flórez & Suavita, 1997); (Smith & Ward, 1998); (Castro, 2007).

Hidráulicamente un flujo torrencial se caracteriza por contener un alto porcentaje de material sólido (que incrementa considerablemente la viscosidad y densidad del flujo, disminuyendo su velocidad), recorre cauces de altas rugosidades y altas pendientes.

Cuando se presentan avenidas torrenciales las corrientes aumentan la capacidad para transportar sedimentos gruesos, donde además se pueden incorporar restos vegetales y lodo con una zona de influencia amplia de gran potencial destructivo un área afectada que se ubica paralelamente al flujo principal y otra que corresponde a la zona donde grandes depósitos de flujos de escombros se acumulan.

Es necesario recalcar que las avenidas torrenciales destructoras se presentan cuando se da, al menos, la confluencia de los siguientes cuatro factores (Caballero, 2011).

- Cuencas con gradientes altos y áreas medias, lo que implica rápidos tiempos de concentración y altas velocidades de las corrientes.
- Precipitaciones de gran intensidad, concentradas sobre la cuenca o parte importante de ésta.
- Disponibilidad de material fino granular que puedan ser puestos en movimiento por la creciente. Las fuentes de estos materiales pueden ser movimientos en masa o focos de erosión existentes, grupos de movimientos en masa generados durante el mismo evento climático, material depositado en las vertientes por procesos constructivos, cortes, explanaciones, llenos y escombreras entre otros.
- Cambios bruscos en el gradiente de la quebrada, lo que facilita la acumulación de los sedimentos transportados desde la cuenca alta o media. En algunos casos, puede darse acumulación de sedimentos por el ensanchamiento abrupto del cauce mayor, lo que generalmente ocurre unido al cambio de gradiente al que ya se hizo referencia.

2.2.5.2.1 Estimación de volúmenes líquidos.

Los volúmenes sólidos fueron extraídos de la simulación hidrológica indicada en detalle en el capítulo de inundaciones.

2.2.5.2.2 Estimación de volúmenes sólidos.

Generalmente las avenidas torrenciales son detonadas por eventos de inestabilidad geológica, climatológica e hidrológica, que al generar un cuerpo de material sólido llega a combinarse con procesos hidrológicos generándose flujos no newtonianos los cuales dependerán del aporte inicial de sedimentación. (Thouret et al., 2020).

A continuación, se presenta la metodología para la estimación del volumen sólido que podría generarse en las microcuencas, empleada en el Plan Parcial Metropolitana.

Una vez, estimados los caudales líquidos, se procede a estimar el aporte máximo de sedimentos en las cuencas en estudio. Para el desarrollo, se realizó la identificación de áreas en las que se puede presentar deslizamientos, por medio de interpretación de imágenes satelitales y posterior verificación en campo, donde se pudo delimitar mediante polígonos cuatro áreas utilizando herramientas de ArcGis.

Para estimar la cantidad de material que se podría desplazar y aportar cierta cantidad de volumen sólido a la Quebrada La Merced y Quebrada La Rusia, se realizó un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales del año 2005 Google y 2020 Sentinel, este tipo de análisis consiste en realizar una validación y estimación de los cambios que se puedan presentar en el terreno, como son los cambios en la cobertura vegetal, dinámica fluvial o, para evaluar el porcentaje de área afectado por un proceso de remoción en masa.

Utilizando herramientas de ArcGis, se realizó una clasificación no supervisada de coberturas de cada imagen, obteniendo cuatro tipos de cobertura para la Imagen del año 2005 y tres para la imagen del año 2020 en formato RASTER. Como se desea conocer el posible volumen de las cuatro áreas identificadas donde se pueden presentar deslizamientos, se hizo un recorte para cada RASTER con la delimitación de las áreas, posteriormente se creó un TIN para cada año y se empleó la herramienta "diferencia de superficies" que calcula la diferencia volumétrica entre dos modelos de superficie almacenados como redes irregulares de triángulos (TIN), definiendo tres categorías por defecto encima, igual y abajo, lo que permite determinar las áreas donde se ha presentado pérdida de cobertura o ha habido cambios de superficie (ESRI, 2016).

Finalmente, para cada área identificada se realizó un análisis de estabilidad de taludes, con el fin de determinar qué áreas son más susceptibles a la ocurrencia de movimientos del terreno y pueden aportar material sólido a los cauces de las quebradas La Merced y La Rusia.

Para este estudio se siguió las recomendaciones de la metodología propuesta por la Guía técnica de avenidas torrenciales, como insumo se tomó la información disponible para el área de estudio la cual consiste de Unidades geológicas Superficiales (UGS), las geoformas indicativas de depósitos fluvio-torrenciales, y la zonificación de amenaza por movimientos en masa del POMCA del río Juanambú el cual se encuentra a una escala 1:25.000, el cual generó una condición más crítica que el estimado por el análisis del presente estudio a nivel de cuenca.

Esta opción se basa en el cálculo por método heurístico de los volúmenes asociados a las áreas en condición de amenaza alta por movimientos en masa que se localicen dentro de las áreas de aporte definidas, las áreas de aporte potencial son identificadas usando las áreas con geomorfología que indican procesos erosivos y las áreas con amenaza media y alta por movimientos en masa, para la definición el área de aporte se cruzó el mapa resultante de áreas de aporte potencial con las áreas de amenaza alta por movimientos en masa y aquellas áreas donde se evidencia erosión activa.

La estimación del volumen se obtendrá mediante relaciones empíricas donde se utilizó la relación calculada por Larsen y Torres-Sanchez (1998), la cual fue estimada con una base de datos de deslizamientos someros y avenidas torrenciales en Puerto Rico, donde se relacionaron sus áreas y promedios de profundidad de los depósitos lo cual resultó en la ecuación:

$$V_L = 1.826x A_L^{0.898}$$

Siendo V_L el volumen y A_L el área de movimientos en masa, utilizando el área de aporte calculada se obtiene el volumen aportante de la cuenca y sus zonas inestables.

2.2.5.2.3 Clasificación de flujo.

Según (Niño, 2015), existen distintas relaciones importantes que ayudan a definir la naturaleza de un flujo con la concentración por peso, la densidad del sedimento, densidad de la mezcla de sedimentos y los factores de engrosamiento. Cuando se examinan parámetros de flujos hiperconcentrados, especialmente de flujos de lodos, es importante determinar la concentración de sedimentos en términos de volumen o en peso hiperconcentrado, éstas relacionan la concentración volumétrica de sedimentos. Para este estudio, se utilizó la metodología de concentración volumétrica, recomendada en el manual de simulación de flujo de lodos y escombros del software FLO-2D, la cual, se describe por la siguiente ecuación:

$$C_v = \frac{\text{Volumen del sedimento}}{\text{Volumen de agua más volumen sedimento}}$$

Una vez obtenido el valor CV, este es contrastado con la literatura para saber el tipo de flujo torrencial que posiblemente se pueda generar en la cuenca. Posteriormente se verificará si el tipo de sedimentos desde la literatura corresponden al tipo de suelo encontrado en campo mediante estudios de suelo realizados para este Plan Parcial.

Por otra parte, se contempló el criterio de engrosamiento de O'Brien, el cual, se presenta la expresión matemática mostrada a continuación:

$$Q_t = BF * Q_w$$

$$BF = \frac{1}{1 - C_v}$$

Donde, el término BF corresponde al factor de engrosamiento del flujo y representa el valor por el cual debe afectarse el caudal de flujo líquido Q_w para finalmente determinar el caudal total Q_t de un flujo hiperconcentrado (Niño, 2015).

En este orden de ideas, se han plasmado diversas clasificaciones de flujos, según el manual de simulación de flujo de lodos del software (FLO-2D, 2014), el rango de concentraciones de sedimentos en inundaciones de lodo, varían entre el 20% al 40-45% en volumen. Las inundaciones de lodo pueden ser difíciles de distinguir de las inundaciones de agua, estas últimas, tienen un comportamiento de fluido muy similar como se observa en la Tabla 79 y Figura 45, mientras que, las propiedades fluidas de las inundaciones de lodo son definitivamente diferentes de inundaciones de agua, puesto que presentan mucha mayor viscosidad y densidad. La Tabla 79, enumera los cuatro diferentes categorías de flujos de sedimentos hiperconcentrados y presentan sus características de flujo.

Tipo de Flujo	Concentración de Sedimento		Características del Flujo
	En Volumen	En peso	
Deslizamiento (landslide)	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de falla.
Flujo de lodo (mudflow)	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido del flujo de barro; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla
Inundación de lodo (Mud Floods)	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas pero se disipan rápidamente
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases de fluido; las olas viajan en la superficie
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición fluida móvil
Inundación de agua (water floods)	< 0.20	< 0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.

Tabla 79. Tipo y características de los flujos de lodos.

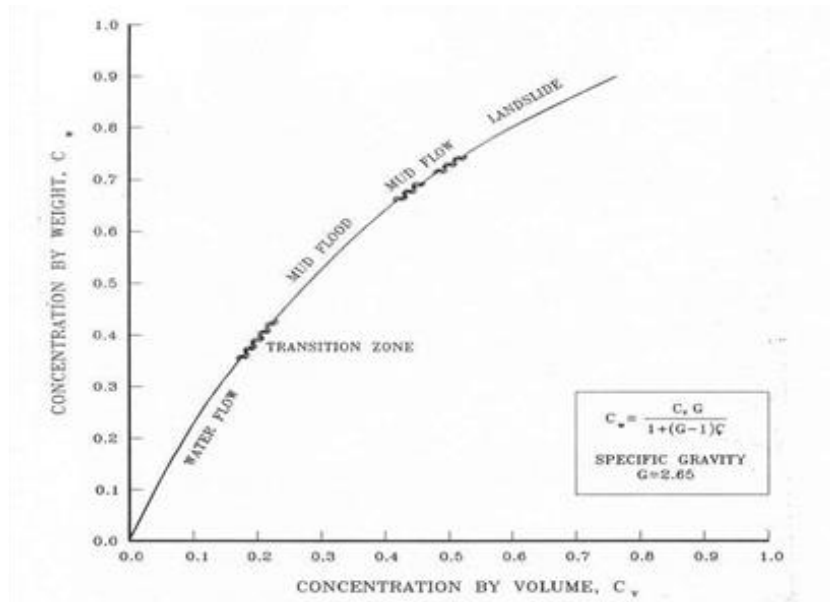


Figura 45. Clasificación flujos torrenciales.

Cabe resaltar que la metodología presentada anteriormente fue desarrollada a partir de los datos de laboratorio utilizando depósitos de flujo de lodo reales de Glenwood Springs, Colorado. Algunas variaciones en la delineación de las diferentes categorías de eventos de flujo deben ser esperados sobre la base de la geología de la cuenca (FLO-2D, 2014).

2.2.5.2.4 Modelo y simulación hidráulica.

- Modelo FLO-2D

Para la simulación hidráulica se utilizó el software FLO-2D, el cual es un modelo bidimensional de diferencias finitas (O'Brien, Julien, & Fullerton, 1993). El modelo permite simular flujos en topografías complejas (áreas urbanas, planicies de inundación, estructuras, diques, entre otras (Vergara, S. f). Las ecuaciones gobernantes de movimiento de flujo que usa el modelo se mencionaron detalladamente en el inciso de inundaciones.

La pendiente de fricción S_f se calcula utilizando tensiones de corte. En el modelado del flujo de lodo o escombros, hay cinco componentes en el esfuerzo cortante

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_t + \tau_d$$

donde τ_c corresponde a la tensión de fluencia cohesiva; τ_{mc} es Mohr-Coulomb shear; τ_v es la tensión de corte viscosa; τ_t y τ_d son tensiones de corte turbulentas y dispersivas respectivamente. La ley constitutiva para el esfuerzo cortante y la tasa de deformación utilizada es:

$$\tau = \tau_o + \eta \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) + C \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2$$

donde τ_o es el límite elástico y $\tau_o = \tau_c + \tau_{mc}$; η es viscosidad dinámica (equilibrio); el coeficiente turbulento-dispersivo C es:

$$C = \rho_m l^2 + \frac{\pi}{12} \left(\frac{6}{\pi}\right)^{1/3} \sin^2(\alpha_I) \rho_s (1 - e_n^2) C_v^{1/3}$$

donde ρ_s es la densidad de los escombros; ρ_m es la densidad de la mezcla; e_n es el coeficiente de restitución de energía; α_I es el ángulo de impacto promedio del sólido. La ecuación de la ley constitutiva para el esfuerzo cortante y la tasa de deformación es similar al modelo propuesto por (Julien & Lan, 1991), pero el modelo de Julien y Lan da tensión cero si la tasa de tensión es menor que la tensión de fluencia, mientras que la ecuación de ley constitutiva no.

De la ecuación de ley constitutiva la pendiente de fricción puede ser obtenida de:

$$S_f = \underbrace{\frac{\tau_y}{\gamma_m H}}_{S_y} + \underbrace{\frac{K \eta u}{8 \gamma_m H^2}}_{S_v} + \underbrace{\frac{n_{td}^2 u^2}{H^{4/3}}}_{S_{td}}$$

donde S_y y S_v son tensión de fluencia y la pendiente viscosa respectivamente, y $S_y + S_v$ representa los efectos de tensión de fluencia y viscosidad; S_{td} es pendiente dispersiva turbulenta y representa los efectos de colisión entre sólidos; K es parámetro de resistencia; T_y es tensión de fluencia, η es la viscosidad dinámica y n_{td} es resistencia al flujo turbulento, y puede ser expresado como (Wu, Liu, & Chen, 2013).

$$\tau_y = \alpha_2 \exp(\beta_2 C_v),$$

$$\eta = \alpha_1 \exp(\beta_1 C_v),$$

$$n_{td} = n_t b \exp(m C_v)$$

Por otro lado, según (Niño, 2015) la resistencia al flujo denominada K , dicha resistencia en un canal abierto es afectada por las propiedades inerciales del fluido en movimiento (como la densidad y la viscosidad), por la forma del canal de flujo, y por el rozamiento impuesto por la rugosidad del lecho. En cauces aluviales, la rugosidad del lecho puede ser subdividida entre rugosidad de las partículas (forma y tamaño del lecho tales como rizos, dunas y anti-dunas).

- Datos de entrada FLO2D

Para simular el flujo de lodos, los datos principales de entrada se presentan a continuación:

- La preparación de datos para la modelación de flujos torrenciales, tales como topografía, dominio, interpolación de elevación de puntos, entre otros, se explican en el inciso de inundaciones y caracterización física y ambiental de la cuenca.

- En los parámetros hidrológicos como outflow e inflow, el primero se seleccionará con la herramienta "element by element" las grillas aguas abajo por donde sale el cauce natural, mientras que, para el inflow, se introducirá el hidrograma total (hidrograma líquido y concentración volumétrica) en un archivo de formato ".HYD", este se lo ubicó en el inicio del predio en el sector norte. Los hidrogramas introducidos corresponden los tiempos de retorno 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- El valor de K, será un valor representativo de la zona de estudio con base en las coberturas predominantes del área a realizar la simulación hidráulica del flujo.

Finalmente, en el CON.DAT, se establecerá un cambio de porcentaje de profundidad de 0.2 (recomendado por el manual de FLO-2D), un ajuste de n de Manning de 0.001, un intervalo de tiempo Δt de 0.5 horas.

2.2.5.2.5 Categorización de la amenaza Escala 1:2000.

- Fuentes de información e insumos para la cuantificación de amenaza a escala 1:2.000

Para la aplicación de la metodología se utilizará los resultados de las simulaciones hidráulicas de avenidas torrenciales para los tiempos de retorno 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Es decir, en total se obtendrán 6 Índices de Intensidad de Flujo correspondientes a cada TR. El producto fue generado a través de la herramienta "Calculadora Raster" del software ArcGIS.

- Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales

El análisis de frecuencia de ocurrencia para la escala 1:2.000 está precedido por la construcción de las curvas de amenaza de cada punto del espacio, las curvas de amenaza relacionan la probabilidad de excedencia de una avenida torrencial particular, que puede expresarse en términos de su periodo de retorno, con la variable usada para caracterizar la intensidad de flujo, definido como IDF, siendo el producto de la profundidad máxima de flujo y la velocidad máxima de flujo al cuadrado $IDF = h_{max} \cdot u_{max}^2$.

El procedimiento para la generación y evaluación de las curvas de amenaza se desarrollan en varias etapas, en estas se realiza, entre otras, el cálculo del índice de intensidad IDF, el ajuste estadístico de las curvas de amenaza, se evalúan las curvas de dos formas diferentes y finalmente se asigna una categoría final de amenaza.

- Cálculo del índice de intensidad de avenidas torrenciales y ajuste estadístico

Las capas ráster de índice de intensidad de flujo fueron utilizadas para generar las curvas de amenaza. Posteriormente con ayuda de la librería geopandas del software Python, se realizó un ajuste potencial ($IDF = \alpha TR^\beta$) para cada punto en el espacio, finalmente se determinó el error cuadrático medio para cada ajuste. Siguiendo la ecuación:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{est} - y_{obs})^2$$

Donde:

y_{est} : Son los valores estimados mediante la regresión.

y_{obs} : Son los valores 'observados', en este caso provenientes de la simulación.

n : Es el número de datos.

- Evaluación de las curvas entrando con una probabilidad de excedencia asociada a un índice de confiabilidad para un tiempo de exposición.

Los criterios para la zonificación de amenaza se elaboraron con base en el inciso 6.3.2 de la guía del (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2021). Se comenzaron a elaborar como el nivel de daño de un evento particular (asociado a un índice de confiabilidad) puede utilizarse para establecer categorías, en este caso, de amenaza. La idea fue aplicada usando la información presentada por Jakob et al. (2012) que relaciona rangos del índice de intensidad de flujo con probabilidades de observar un cierto nivel de daño.

- La categorización propuesta se determinará con los siguientes criterios:
 - a) Si en un lugar determinado el I_{DF} no alcanza los $1 \text{ m}^3/\text{s}^2$, implica que hay baja probabilidad de que se genere daño estructural, por lo que ese lugar se categoriza como amenaza baja.
 - b) Si en un lugar determinado el I_{DF} es mayor o igual a $1 \text{ m}^3/\text{s}^2$, pero menor a $50 \text{ m}^3/\text{s}^2$, indicando que la probabilidad de que se genere daño estructural leve es considerable, pero la probabilidad de daño estructural leve es baja, entonces se clasificará dicho punto como amenaza media.
 - c) Si en un lugar determinado el I_{DF} iguala o excede los $50 \text{ m}^3/\text{s}^2$ la probabilidad de colapso es significativa y dicho punto se categoriza como amenaza alta.

Para esta primera metodología, se evaluará la curva de amenaza entrando con un valor seleccionado de periodo de retorno para un evento extremo. Es importante resaltar que la zonificación de amenaza cuantitativa sea adecuada usando solamente el índice de intensidad de flujo para la caracterización de la amenaza, la capacidad e idoneidad de los modelos numéricos para representar adecuadamente los procesos físicos y la complejidad del proceso es fundamental, al igual que la calidad de los insumos con los cuales se alimentan dichos modelos, pues de otro modo las meras estimaciones de IDF serían una descripción incompleta y sesgada. Un resumen de la propuesta y la condición asociada a cada categorización en función del IDF se presenta a continuación, en la Tabla 80.

Rango	Categoría	Identificación
$50 > I_{DF}$	Alta	
$1 \geq I_{DF} > 50$	Media	
$0 \geq I_{DF} > 1$	Baja	

Tabla 80. Categorías propuestas de acuerdo con el valor de IDF obtenido de las curvas de amenaza.

Fuente: SGC, 2021.

En la segunda metodología, evaluación de las curvas entrando con un valor de índice de intensidad actuando como umbral, la curva de amenaza se evaluará de forma contraria, entrando con un índice de intensidad que sea representativo de un umbral de daño. En este caso el valor seleccionado es de $5 \text{ m}^3/\text{s}^2$, que representa el paso de algún daño estructural a daño estructural considerable. La categorización de la amenaza se realiza siguiendo los criterios mencionados en el documento de metodología y modelos matemáticos, que se presenta en la

Tabla 81.

Rango	Categoría	Identificación
$0,43 = P > 0,033$ (2,33 años = $T < 30$ años)	Alta	
$0,033 = P > 0,01$ (30 años = $T < 100$ años)	Media	
$P \geq 0,01$ ($T \geq 100$ años)	Baja	

Tabla 81. Categorías propuestas de acuerdo con valor de probabilidad obtenido de las curvas de amenaza.

Las dos metodologías se desarrollaron bajo premisas diferentes, concibiéndose como dos maneras distintas de entender la zonificación de amenaza; sin embargo, se espera que los dos criterios de zonificación resulten en zonificaciones similares. En la práctica, la zonificación que utiliza el criterio propuesto en la primera zonificación resulta en una adecuada definición de las zonas en general, pero con alguna tendencia a clasificar zonas de cauce activo como amenaza media; por su parte, el criterio presentado en la segunda zonificación resulta en una definición general de las zonas adecuada, pero con alguna tendencia a subestimar las transiciones de amenaza media a amenaza alta.

Considerando las tendencias mencionadas, la zonificación debe realizarse utilizando ambos criterios y agregarse posteriormente, quedándose con la mayor categoría de amenaza obtenida en cada pixel, como se presenta en la Tabla 82.

Clasificación 1	Clasificación 2	Clasificación 3	Identificación
Alta	Alta	Alta	
Alta	Media	Alta	
Alta	Baja	Alta	
Media	Alta	Alta	
Media	Media	Media	
Media	Baja	Media	
Baja	Alta	Alta	
Baja	Media	Media	
Baja	Baja	Baja	

Tabla 82. Agregación de resultados con los diferentes clasificación.

La agregación de los dos criterios resulta en una zonificación consistente, obtenida de criterios cuantitativos y con una interpretación clara de cada categoría de amenaza.

2.2.5.3 Resultados

2.2.5.3.1 Susceptibilidad ante flujos torrenciales

A continuación, se procederá a estimar los diferentes indicadores morfométricos como proceso complementario a la susceptibilidad geomorfológica previo a la definición de amenazas, esta tiene como objetivo establecer, como se mencionó anteriormente, en forma integral que tan propensa es nuestra área de estudio como parte de las cuencas a sufrir estos fenómenos naturales de esta tipología.

2.2.5.3.2 Índices de Melton (IM)

Cuenca	C1 (Km)	C2 (Km)	Área (Km ²)	IM
La Magdalena	3.08	2.66	1.16	0.39
La Merced	3.32	2.66	2.72	0.40
La Rusia	2.91	2.66	0.55	0.34

Tabla 83. Índices de Melton.

Los resultados de los índices de Melton son inferiores a 0,5, indicando en los valores típicos en Colombia un posible escenario de flujos hiperconcentrados.

2.2.5.3.3 Relación de relieve.

Utilizando los valores de altura máxima y mínima mencionadas en el ítem anterior, se procedió a estimar la relación de relieve para las cuencas.

Cuenca	H (Km)	Longitud Cuenca (Km)	Rr
La Magdalena	0.42	2.6	0.42
La Merced	0.66	2.6	0.66
La Rusia	0.25	1.3	0.25

Tabla 84. Relación de relieve.

La relación de relieve, indica que para las cuencas en mención pueden presentar flujo de detritos, lodos e hiperconcentrados, según los rangos para Colombia.

2.2.5.3.4 Integral o curva hipsométrica.

Luego de realizar la respectiva reclasificación, se elaboró la curva hipsométrica obteniendo una altura media de 2968,3 m, 2777,1 m y 2858,1 m para la cuenca La Merced, La Rusia y La Magdalena respectivamente, obteniendo un valor de IH de 0.499 para las tres cuencas. Esto quiere decir, que las cuencas se encuentran en equilibrio (levantamiento tectónico y erosión) y en Colombia se consideran que estas cuencas son susceptibles a presentar torrencialidad, debido a que son cuencas maduras, es decir, la cuenca está experimentando una compensación de la actividad tectónica reciente mediante procesos denudacionales. En las Figura 46, Figura 47 y Figura 48, se presentan las curvas hipsométricas de las cuencas.

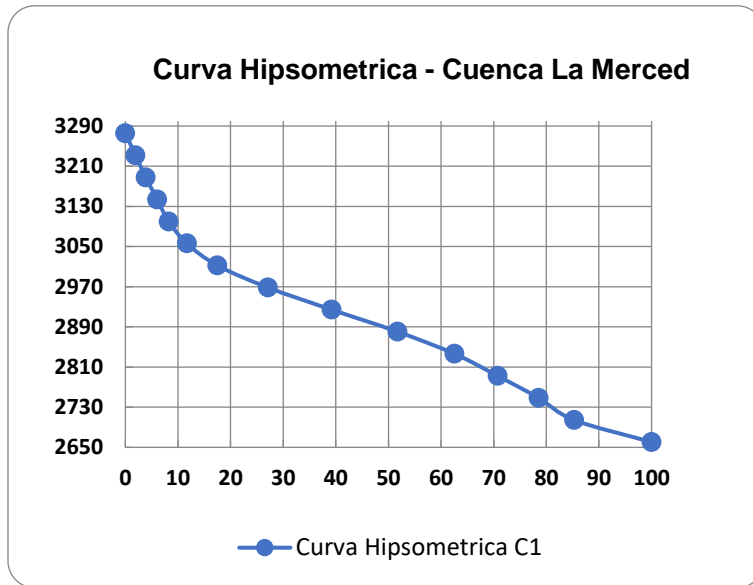


Figura 46. Curva hipsométrica cuenca La Merced.

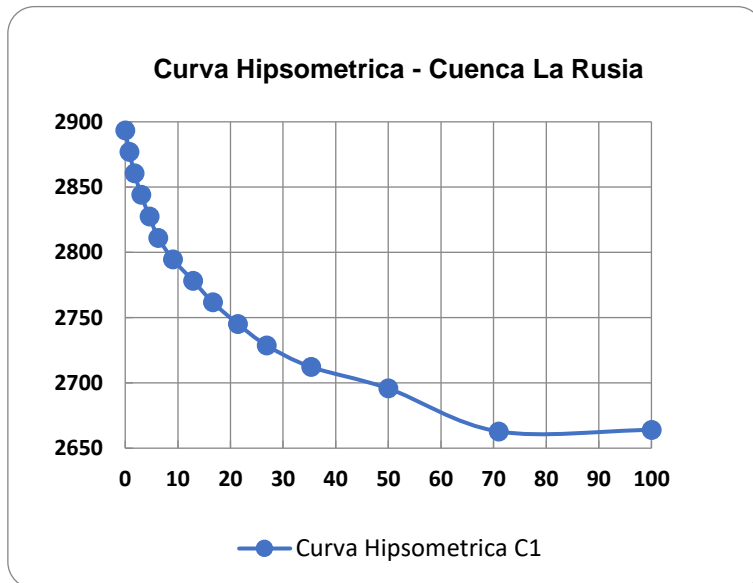


Figura 47. Curva hipsométrica cuenca La Rusia.

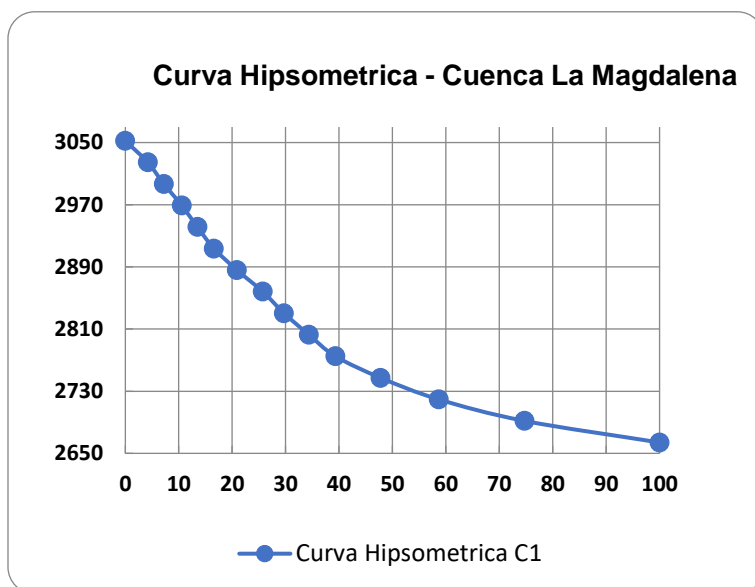


Figura 48. Curva hipsométrica cuenca La Magdalena.

A continuación, en la Tabla 85, se presenta los resultados de los cálculos correspondientes a diversos índices que incluyen la morfometría de cuencas, para establecer que, tipo de flujo puede generarse en la zona de estudio, según los rangos dados por la guía del SGC, 2021, para cuencas colombianas.

Variable	Cuenca La Merced	Cuenca La Rusia	Cuenca La Magdalena	Tipo de flujo (Colombia)
Índice de Melton	0.40	0.34	0.39	F. hiperconcentrados
Longitud (Km)	3.1	1.3	2.6	F. de detritos y lodos
Relieve	0.21	0.19	0.16	F. de detritos, lodos e hiperconcentrados
Área (Km²)	2.72	0.55	1.16	> probabilidad de F. de detritos
Integral hipsométrica	0.5	0.49	0.5	Avenida torrencial
Coefficiente de torrencialidad	2.17	2.18	1.12	F. de detritos, lodos e hiperconcentrados

Tabla 85. Resumen de índices de torrencialidad y tipo de flujo para Colombia.

Las cuencas presentan susceptibilidad a flujos de detritos, lodos e hiperconcentrados y avenidas torrenciales.

2.2.5.4 Amenaza por flujo torrencial

La amenaza por flujo torrencial será definida principalmente con la definición de los volúmenes líquidos, volúmenes sólidos, reología y parámetros hidráulicos de simulación tal como como se detalló en la metodología, a continuación, se presentan los resultados de cada uno de ellos.

2.2.5.4.1 Estimación de Volumen Líquido.

Los detalles de la obtención de los volúmenes líquidos se presentan en el acápite de inundaciones, en la Tabla 86 se presenta los valores para cada tiempo de retorno.

TR (años)	Cuenca La Merced (m ³ /s)	Cuenca La Rusia (m ³ /s)	Cuenca La Magdalena (m ³ /s)
2	2.4	0.5	1
5	4.4	1	1.9
10	6.0	1.4	2.6
25	8.3	2.0	3.5
50	10.1	2.5	4.3
100	12.0	3.0	5.1

Tabla 86. Volúmenes líquidos para cada tiempo de retorno.

2.2.5.4.2 Estimación de volúmenes sólidos.

Se tiene en cuenta la información del documento técnico de soporte Plan Parcial Policía Metropolitana:

Se observa de manera esquemática las áreas propensas a deslizamiento cercanas a la red hídrica definidas por escasa cobertura vegetal y/o por la presencia de grietas (tres áreas en la cuenca la merced y un área en la cuenca la Rusia).

Por su parte, en la Figura 50, se observa los resultados de la clasificación no supervisada que se realizó para cada imagen satelital, donde para la imagen del año 2005 se clasificó cuatro categorías de cobertura vegetal (lado izquierdo de la figura) y para el año 2020 tres categorías (lado derecho de la figura), de igual manera en la Figura 51 se muestra las redes irregulares de triángulos (TIN) que se generó para cada imagen.

Una vez obtenidos los TIN para cada año se realizó el procedimiento de diferencia de superficies, proceso que da como resultado polígonos que se clasifican con códigos correspondientes a las superficies que se encuentran por debajo (-1) o por encima (1) de un plano de referencia (0) ver Figura 52, que para el análisis del presente estudio se toma el volumen de los polígonos que tienen un código de -1, suponiendo que estas son las áreas que han deslizado o desplazado de alguna manera y por tanto son las que aportarían esa cantidad de material sólido a las diferentes fuentes hídricas.

Desde la Figura 49 a la Figura 52, se encuentran los datos de volumen y área de los polígonos resultantes del procedimiento que se encuentran por debajo del plano de referencia, y que se sumaron para obtener el volumen total que aportaría cada superficie identificada a las quebradas La Merced y La Rusia.

FID	Shape *	Volumen	Área	Code
8	Polygon	34.529136	76.301422	-1
11	Polygon	55.158536	171.506101	-1
12	Polygon	21.377436	74.542374	-1
15	Polygon	4161.59592	5764.47117	-1
22	Polygon	89.399483	156.634475	-1
23	Polygon	764.082249	1102.2147	-1
28	Polygon	0.089918	1.991365	-1
29	Polygon	98.672081	166.102239	-1
41	Polygon	17.424765	54.507678	-1
50	Polygon	47.413687	129.64042	-1
65	Polygon	23.307845	56.455683	-1
251	Polygon	0.030015	0.968895	-1

Tabla 87. Volúmenes área 1 – Cuenca La Merced.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

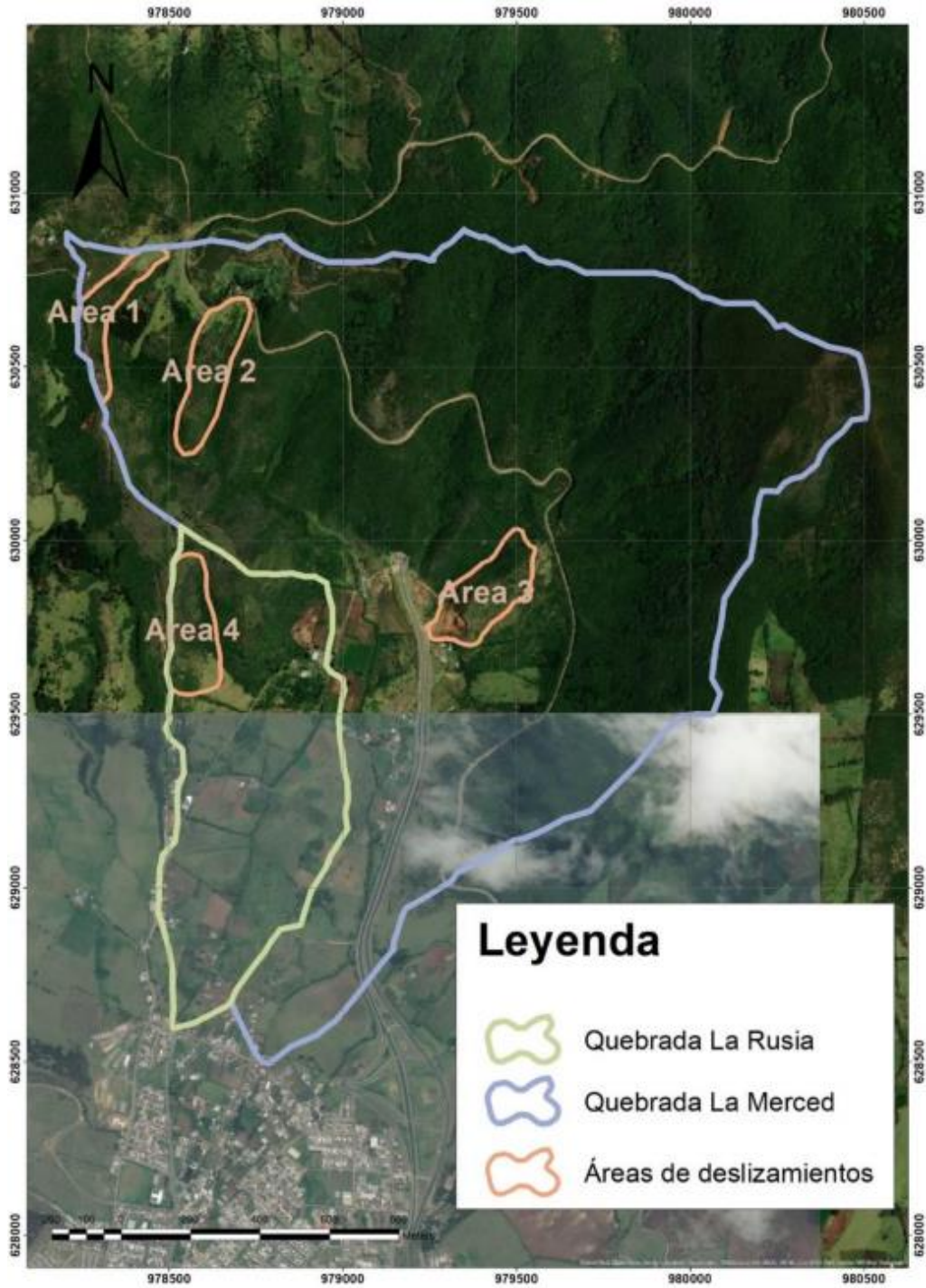


Figura 49. Áreas de deslizamientos.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

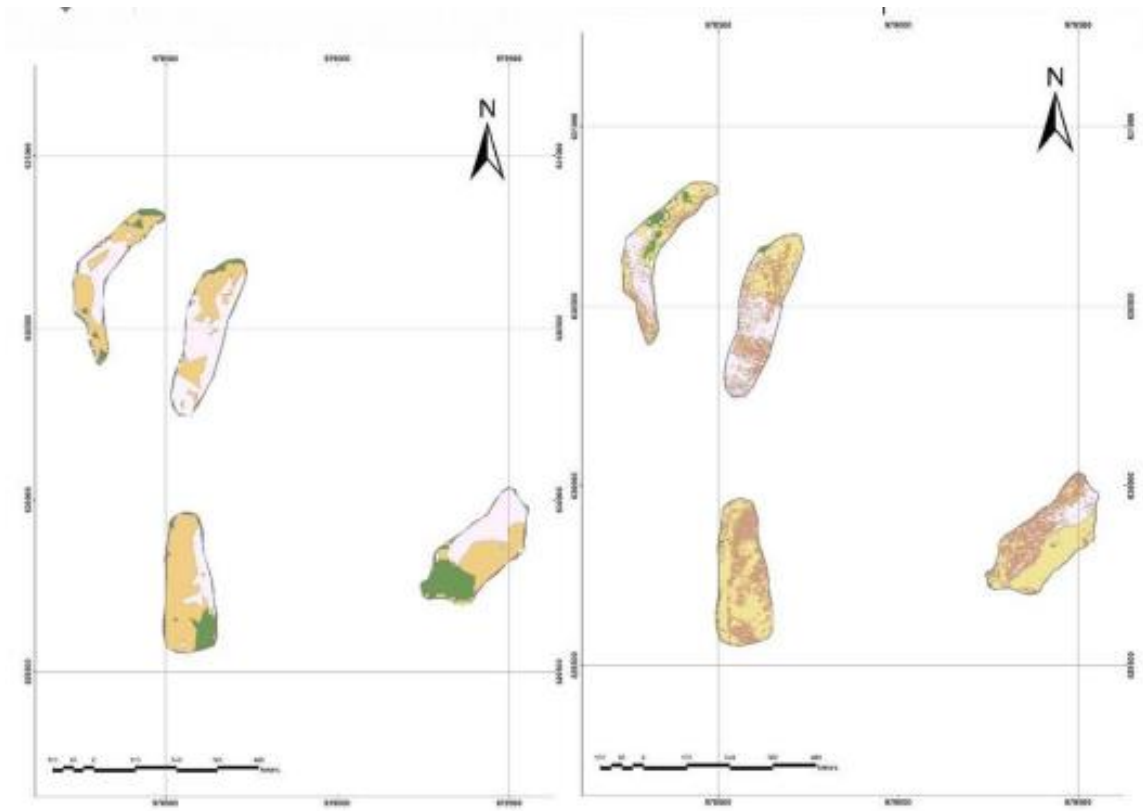


Figura 50. Clasificación no supervisada.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

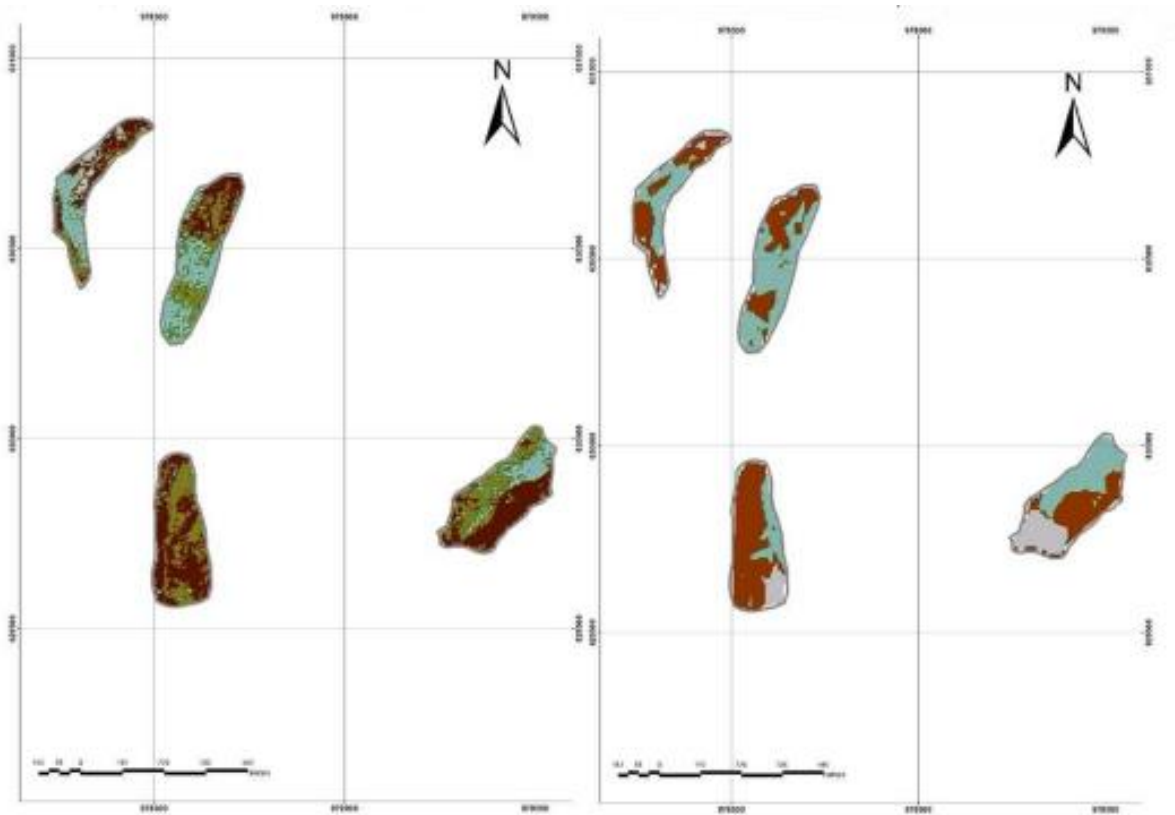


Figura 51. Redes Irregulares de Triángulos.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

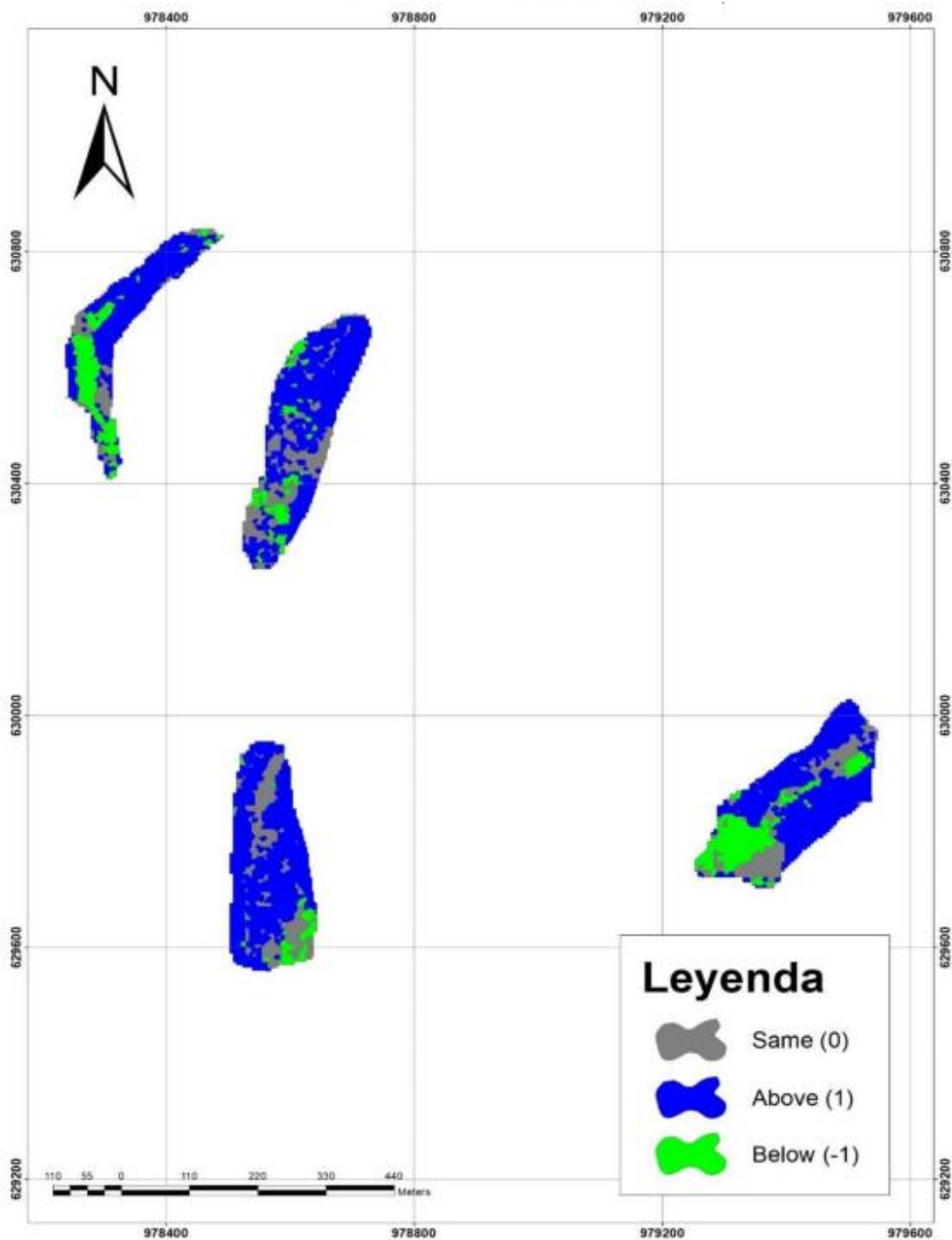


Figura 52. Diferencia de Superficies.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

FID	Shape *	Volume	SArea	Code
3	Polygon	11.92125	38.155136	-1
25	Polygon	15.375178	41.751672	-1
48	Polygon	121.824393	345.177085	-1
66	Polygon	41.182501	108.171394	-1
68	Polygon	18.82041	47.613279	-1
69	Polygon	281.012866	528.735753	-1
73	Polygon	12.798383	42.062542	-1
76	Polygon	0.093789	2.070865	-1
110	Polygon	240.928259	616.096004	-1
125	Polygon	93.922861	175.643318	-1
126	Polygon	15.1725	47.933099	-1
127	Polygon	26.417676	65.838554	-1
145	Polygon	0.47622	2.590333	-1
155	Polygon	17.564863	61.617969	-1
157	Polygon	201.929639	423.910441	-1
176	Polygon	11.79407	61.948431	-1
178	Polygon	47.685001	120.464325	-1
179	Polygon	449.25046	901.833214	-1
201	Polygon	6.297847	31.95769	-1
203	Polygon	238.600106	518.744797	-1
218	Polygon	0.103228	16.322956	-1
219	Polygon	33.979402	78.193244	-1
222	Polygon	14.264146	44.659008	-1
224	Polygon	39.404806	101.348352	-1
244	Polygon	0.568424	5.292905	-1
267	Polygon	0.001566	0.07317	-1
275	Polygon	4.429508	31.353779	-1

Tabla 88. Volúmenes área 2-Cuenca La Merced.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

FID	Shape *	Volumen	SArea	Code
4	Polygon	842.982946	1173.8757	-1
20	Polygon	69.36	186.995584	-1
21	Polygon	31.42875	87.222452	-1
33	Polygon	5.515001	33.682155	-1
34	Polygon	6322.95282	7479.99976	-1
53	Polygon	156.856692	333.54651	-1
54	Polygon	177.901376	469.494347	-1
61	Polygon	162.526633	371.67494	-1
131	Polygon	130.37974	196.349044	-1
257	Polygon	0.26207	5.369318	-1
280	Polygon	7.58625	24.902494	-1

Tabla 89. Volúmenes área 3 - Cuenca La Merced.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

FID	Shape *	Volume	SArea	Code
35	Polygon	702.624111	1125.6464	-1
37	Polygon	20.59125	64.082781	-1
85	Polygon	15.801699	47.599516	-1
89	Polygon	6.407419	28.238642	-1
90	Polygon	23.922428	63.948687	-1
91	Polygon	12.960114	48.898676	-1
92	Polygon	72.639786	160.778888	-1
118	Polygon	296.154803	562.823609	-1
119	Polygon	194.267207	418.834076	-1
122	Polygon	26.01	80.002051	-1
185	Polygon	16.32198	42.752492	-1
205	Polygon	37.943057	83.699373	-1

Tabla 90. Volúmenes área 4 - Cuenca La Rusia.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

Número de área	Cuenca	Volumen m3
1	La Merced	5313.08
2	La Merced	1945.82
3	La Merced	7907.75
4	La Rusia	1425.64

Tabla 91. Volúmenes de áreas aportantes de material sólido.
Fuente: Plan Parcial Policía Metropolitana.

Para cada área de deslizamiento en el PP Policía Metropolitana, se realizó un análisis de estabilidad de talud, para conocer qué tan susceptible puede ser a la ocurrencia de movimientos en masa y la posibilidad de aportar material sólido, es decir que cantidad de volumen pueden caer sobre las fuentes hídricas La Merced y La Rusia.

En cada perfil se calculó el factor de seguridad teniendo en cuenta dos escenarios:

(1) considerando saturación de los materiales por la presencia de un nivel freático y (2) considerando saturación de materiales y actividad sísmica, como un escenario más crítico. En este sentido los FS menores o iguales a 1 serán menos estables, por tanto, más susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa, y los FS mayores a 1 son más estables. En la Tabla 92, se presentan todos los factores de seguridad calculados para cada área y la susceptibilidad a movimientos en masa.

Área	Factor de Seguridad			
	E1= Agua	Susceptibilidad	E2= Agua y sismo	Susceptibilidad
1	2.13	Baja	1.46	Media
2	1.79	Baja	1.23	Media
3	1.48	Media	0.91	Alta
4	1.07	Alta	0.73	Alta

Tabla 92. Factor de Seguridad de las áreas de posible deslizamiento.

- Volumen de sólidos y coeficientes volumétricos para diferentes tiempos de retorno

Considerando los volúmenes de sólidos establecidos y la guía técnica de modelamiento de avenidas torrenciales los volúmenes sólidos en diferentes tiempos de retorno se presentan en la Tabla 93. Se presenta los sedimentogramas según la metodología de la guía del SGC.

Tiempo de Retorno	La Merced			La Rusia			La Magdalena
	V. solido	V. liquido	Cv	V. solido	V. liquido	Cv	Cv
2	0	4700	0.00	0	500	0.00	0.00
5	4031	8400	0.32	380	1000	0.28	0.32
10	6727	11400	0.37	634	1300	0.33	0.37
25	10155	15600	0.39	955	1900	0.33	0.39
50	12660	19000	0.40	1191	2300	0.34	0.40
100	15167	22600	0.00	1426	2800	0.34	0.00

Tabla 93. Volumen sólido y coeficientes volumétricos.

2.2.5.4.3 Reología del flujo y simulación hidráulica.

El tránsito hidráulico propuesto por el modelo FLO-2D, se basa en una ecuación cuadrática de pendiente de fricción. La velocidad estimada representa la velocidad de flujo calculada en cada límite de elemento de la zona de circulación de flujo, el n de Manning para el flujo en superficie adoptado estuvo entre un rango de 0.013 y 0.3 y para el del cauce un valor de 0.03 – 0.033 (Chaudhry, 2008), para detalles ver inciso de inundaciones. La resistencia al flujo terrestre laminar K fue de tomado de acuerdo con la siguiente tabla:

Cobertura	K
Bosque de Galería Ripario	20000
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	20000
Pastos Arbolados	4000
Pastos limpios	2000
Tejido urbano discontinuo	50
Via	50

Tabla 94. Parámetros de resistencia de flujo laminar.

El peso específico de la matriz de fluido γ_m , el límite elástico τ , y la viscosidad η varían principalmente con la concentración de sedimento, las cuales, son representadas por las siguientes expresiones:

$$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v} \quad \text{y} \quad \eta = \alpha e^{\beta C_v}$$

Donde α_i y β_i son coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratorio por diferentes autores, entre los que se encuentran los propuestos por (O'Brien & Julien, 1988).

Los valores adoptados para el caso de estudio se presentan en la Tabla 96, cabe destacar que, al no tener información reológica del lugar, estos fueron definidos con base en las características de las partículas de suelos de los estudios realizados por CIDETER de plan Parcial Aranda, las muestras ubicadas dentro del área de influencia de estudio son SM3, SM6, SM7 y S3, fueron comparados con los reportados por O'Brien y Julien en la Tabla 95, siendo adoptado el modelo de Glenwood Sample 4 debido a que el suelo predominante en las capas susceptibles a deslizamientos son Limo plástico de consistencia media (S3), arenoso plástico de consistencia mediana (SM6) y blandas (SM3 - SM7) cuyos diámetros característicos (D50) se encuentran en un rango de 0.02 a 0.005 según el USDA y con bajos contenidos de arcilla.

Sample (1)	Sediment Size Distribution				Liquid limit (6)	Plasticity index (7)
	Clay (%) (2)	D_{16} (mm) (3)	D_{50} (mm) (4)	D_{84} (mm) (5)		
Glenwood original	4.8	0.010	0.034	0.062	—	—
Glenwood sample 1	6.8	0.009	0.023	0.050	—	—
Glenwood sample 2	3.0	0.016	0.035	0.061	—	—
Glenwood sample 3	4.8	0.011	0.025	0.053	—	—
Glenwood sample 4	7.6	0.001	0.018	0.032	—	—
Aspen pit 1	31.3	0.001	0.011	0.032	0.32	0.11
Aspen natural soil	27.0	0.001 ^a	0.012	0.028	0.25	0.06
Aspen mine fill	27.8	0.001 ^a	0.013	0.030	0.24	0.06
Aspen natural soil source	31.6	0.001 ^a	0.016	0.039	—	—
Aspen mine fill source	25.2	0.001 ^a	0.018	0.061	—	—

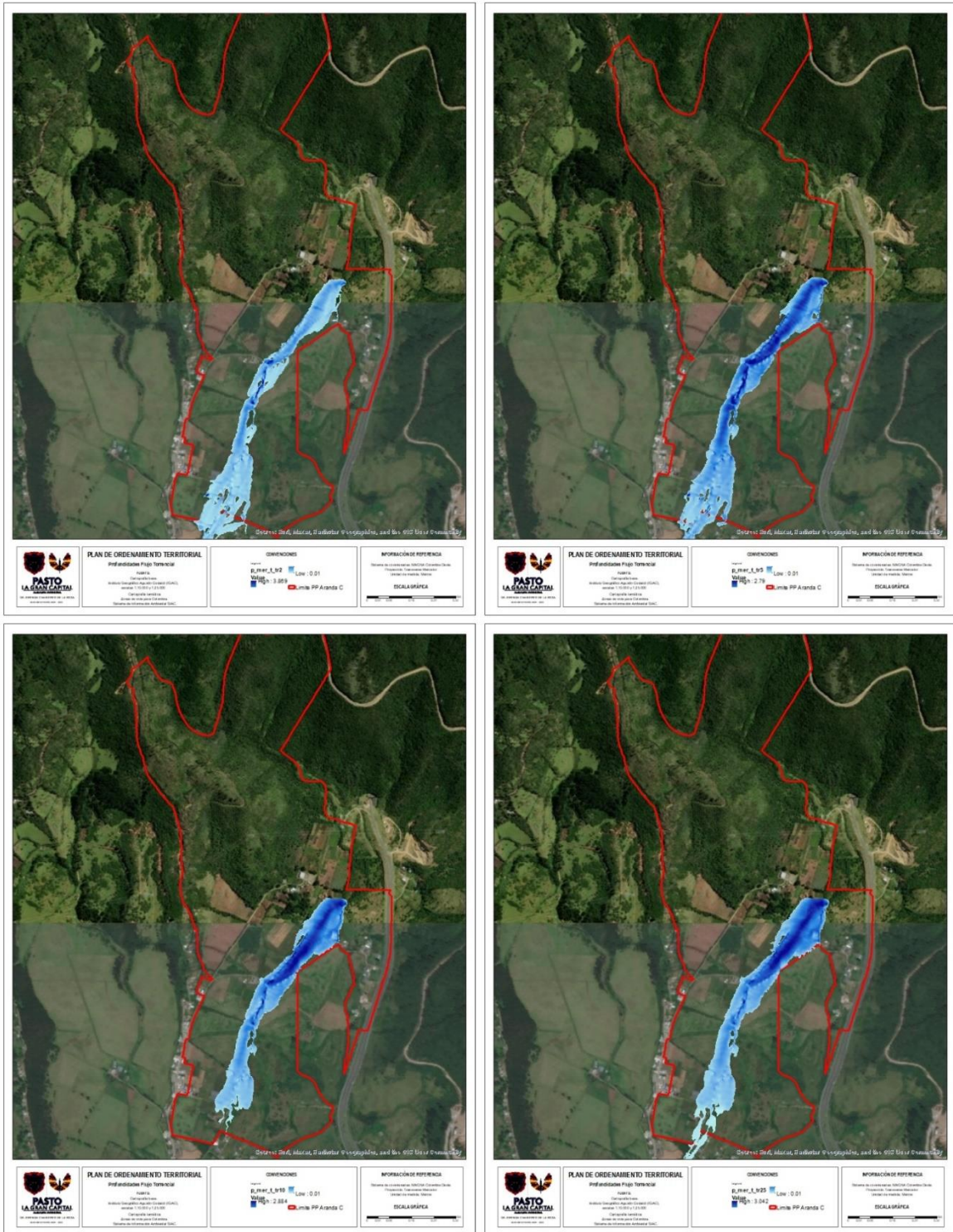
Tabla 95. Propiedades de las matrices de flujo de lodo (solo limos y arcillas).
Fuente: O'Brien y Julien.

Coeficientes	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
	0.00172	29.5	0.000602	33.1

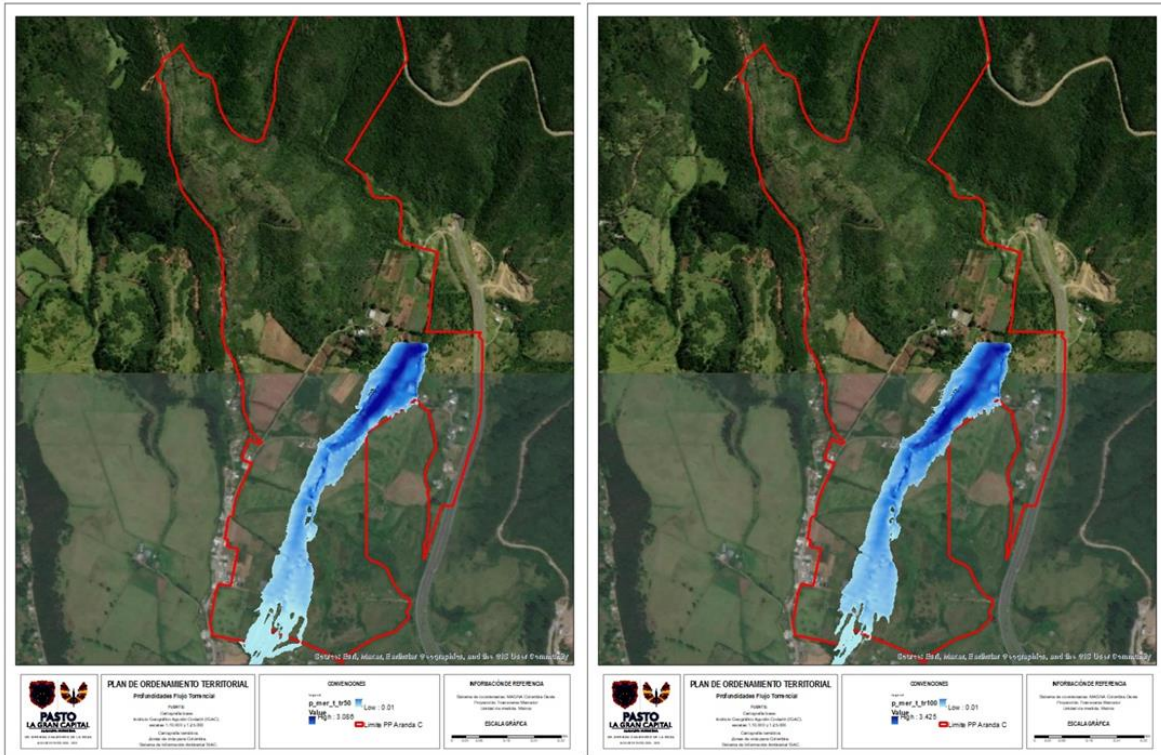
Tabla 96. Coeficientes de correlación de Glenwood Sample 4 Viscosidad τ_y , y η (FLO2D, 2018).

Los resultados de la profundidad de flujo para diferentes tiempos de retorno ante los posibles eventos de flujo de lodos en la zona de estudio, los cuales, se obtuvieron a través de la modelación hidráulica se presentan en la Mapa 49 a Mapa 60, con un valor máximo de 3.4 m para La Merced, 3.1 m La Rusia y 7.5 m Magdalena. Por su parte, los resultados de velocidades máximas de flujo, son 2.5 m/s para La Merced, 4.3 m/s La Rusia y 4.4 m/s Magdalena, los valores más elevados. Los valores críticos se presentaron en el TR 100 y se ubican en el cauce aguas arriba del PP Aranda Centro.

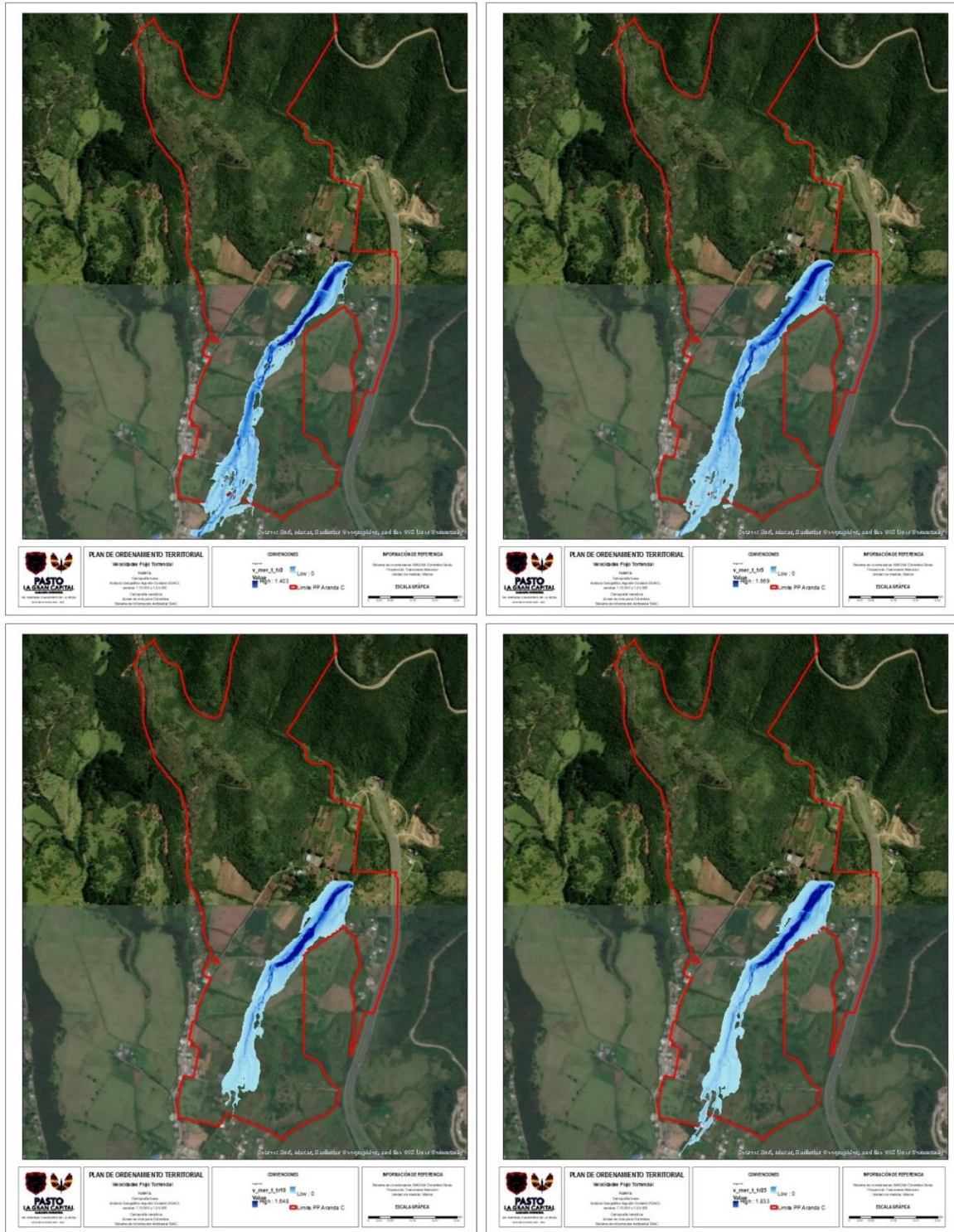
Cabe destacar que, los valores de velocidades máximas, se presentaron en los tramos de mayor pendiente del cauce, lo cual, es coherente con la literatura del comportamiento de flujos en terrenos con altas pendientes. Por su parte, la zona que se presenta inundada, aguas abajo, corresponde a una llanura de inundación de las quebradas y como se puede observar en las figuras y sus convenciones, las láminas de flujo son muy bajas con valores entre 12 - 60 cm aproximadamente, luego esta es disipada y por tanto, las velocidades en esta zona se encuentran en un rango de 0.4 a 1 m/s.



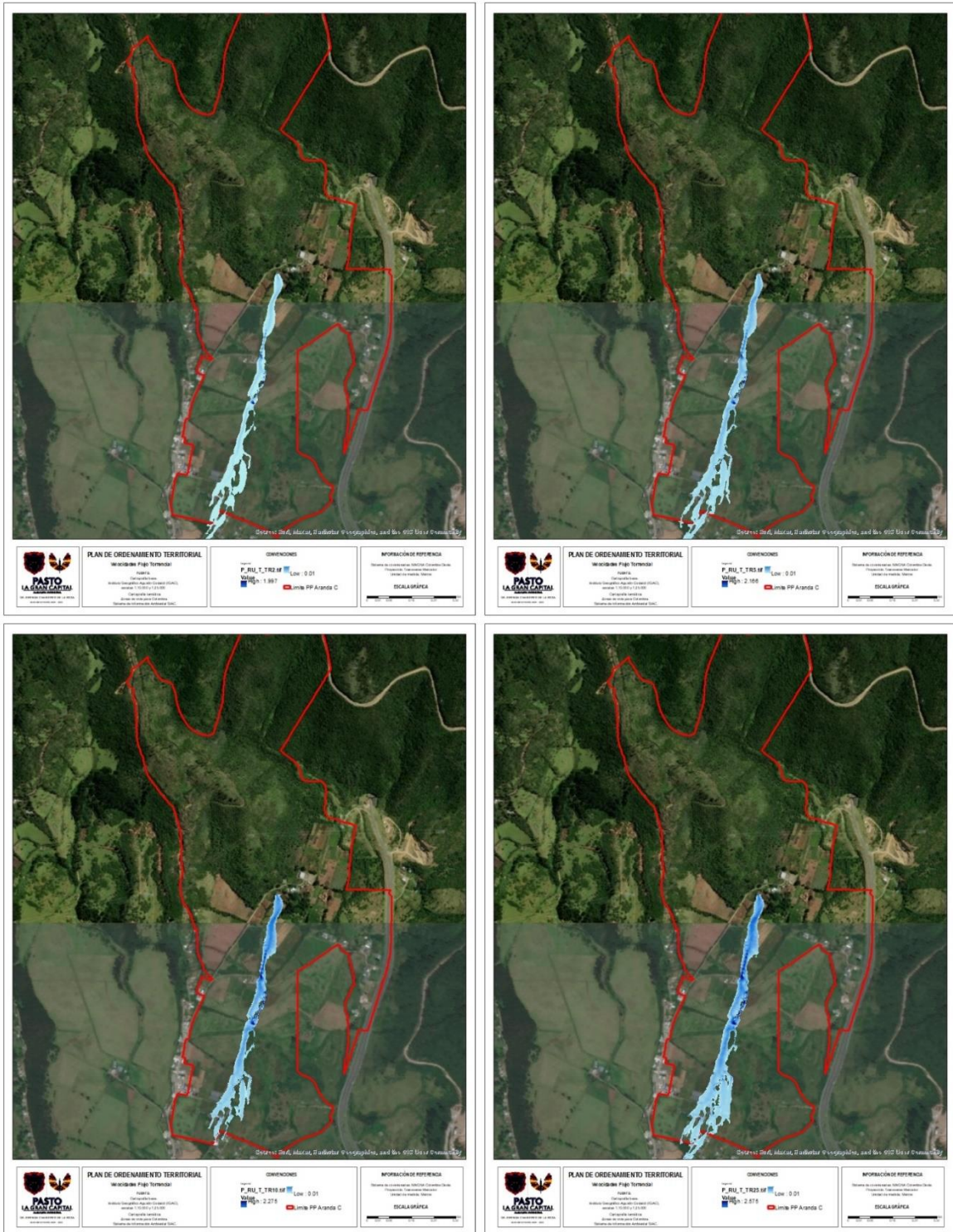
Mapa 49. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Merced.



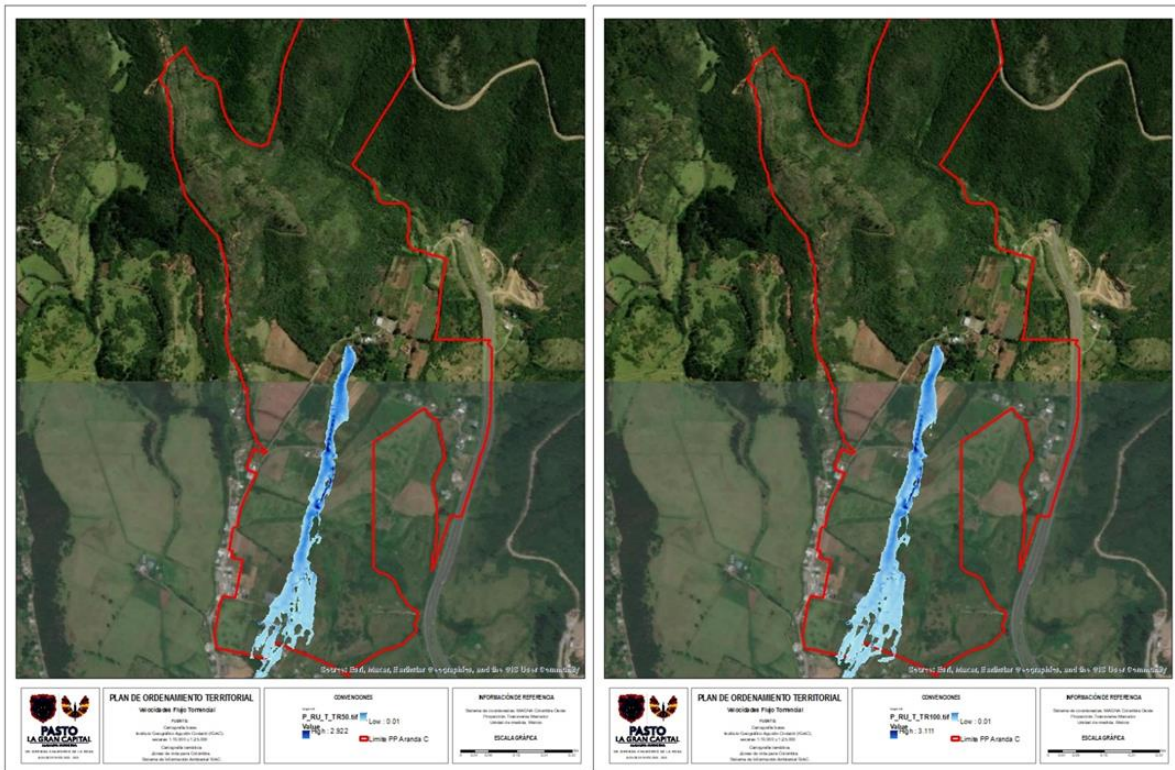
Mapa 50. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – La Merced.

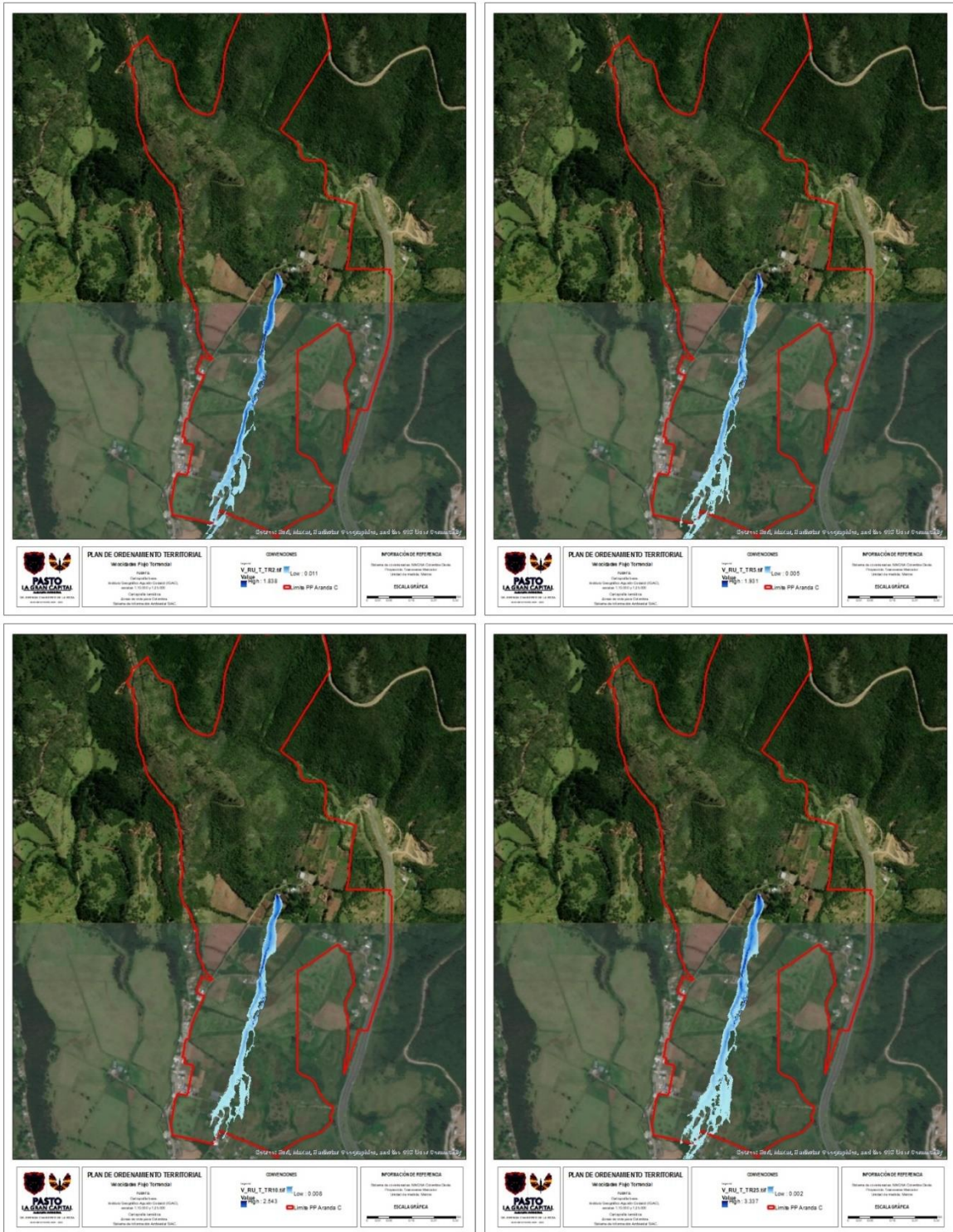


Mapa 51. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Merced.

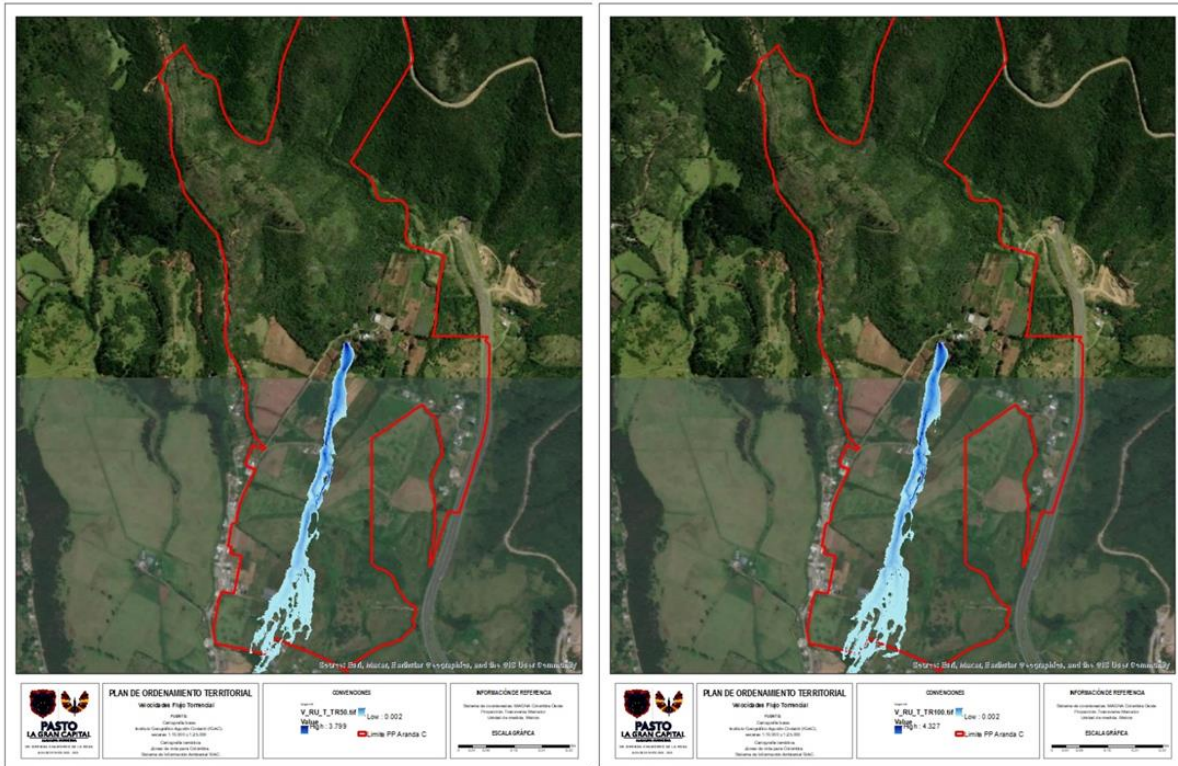


Mapa 53. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Rusia.

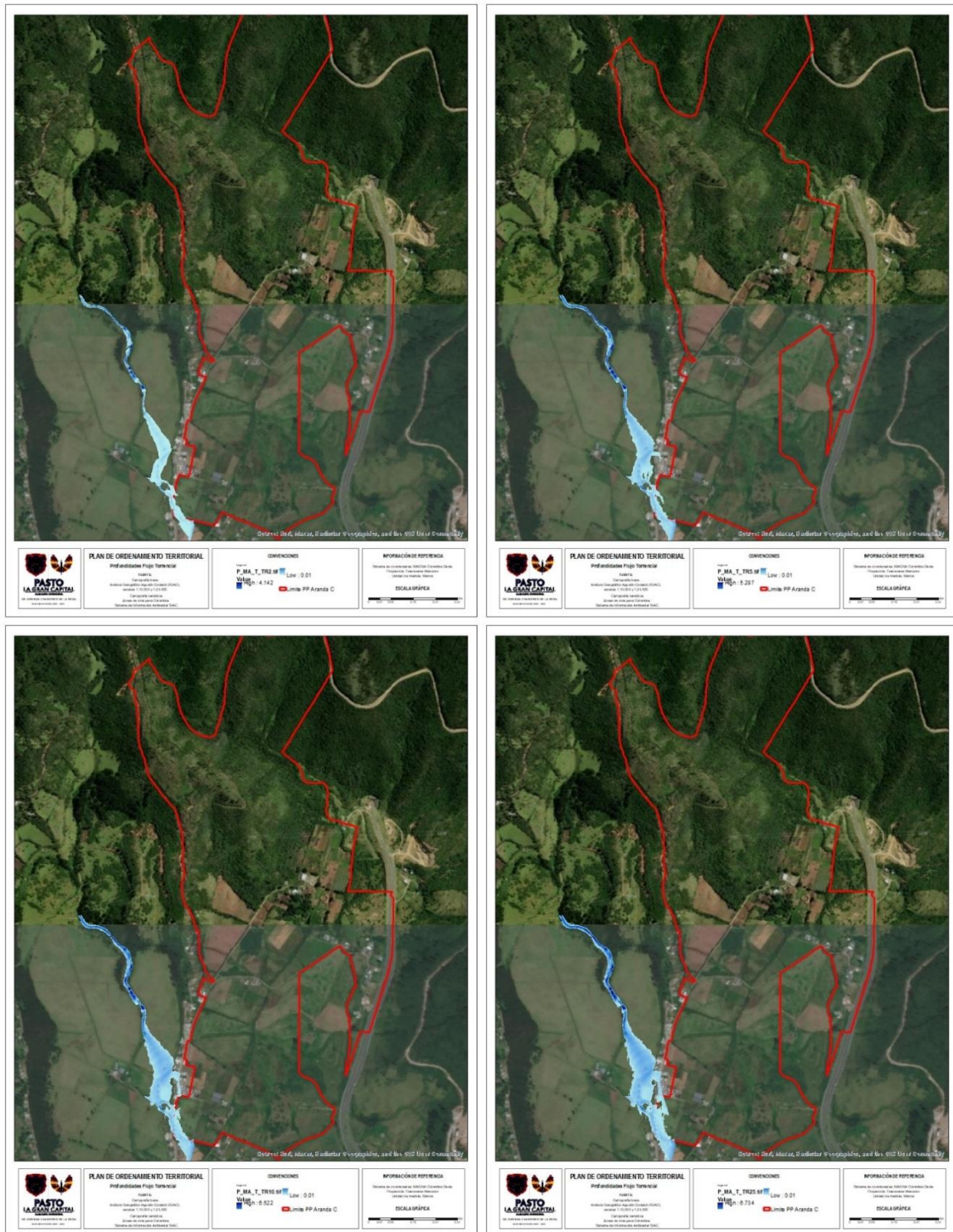




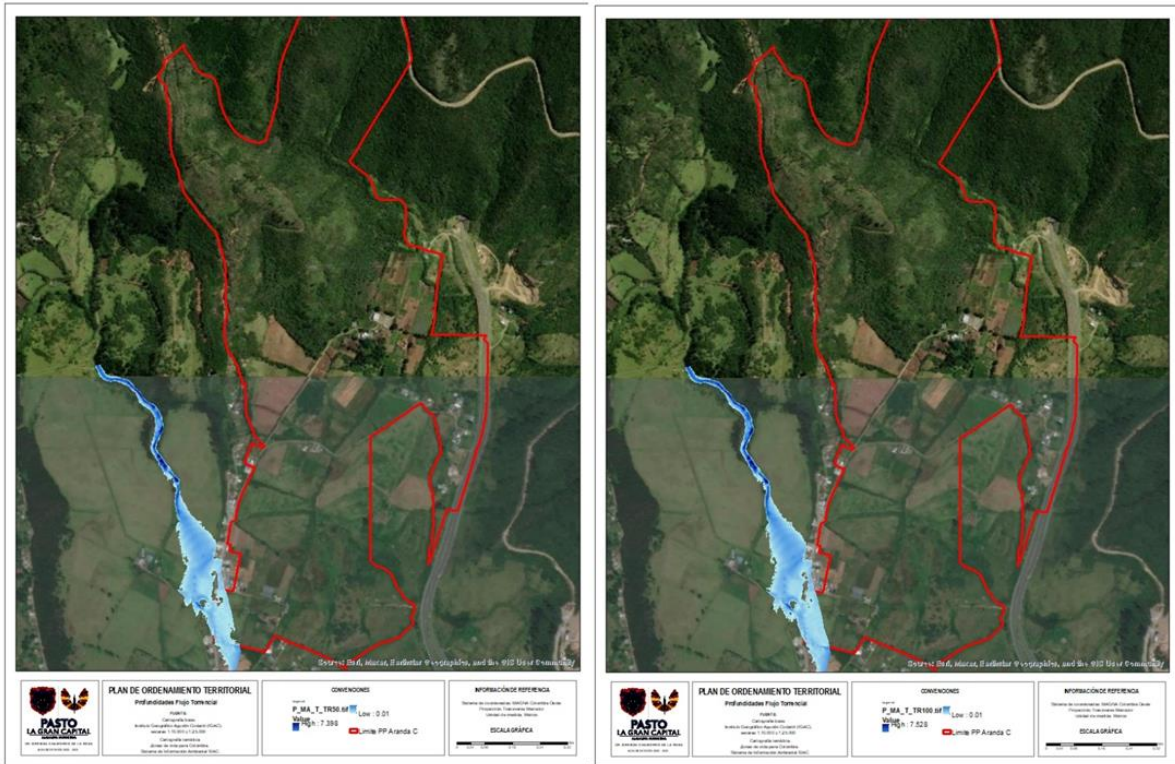
Mapa 55. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – La Rusia.



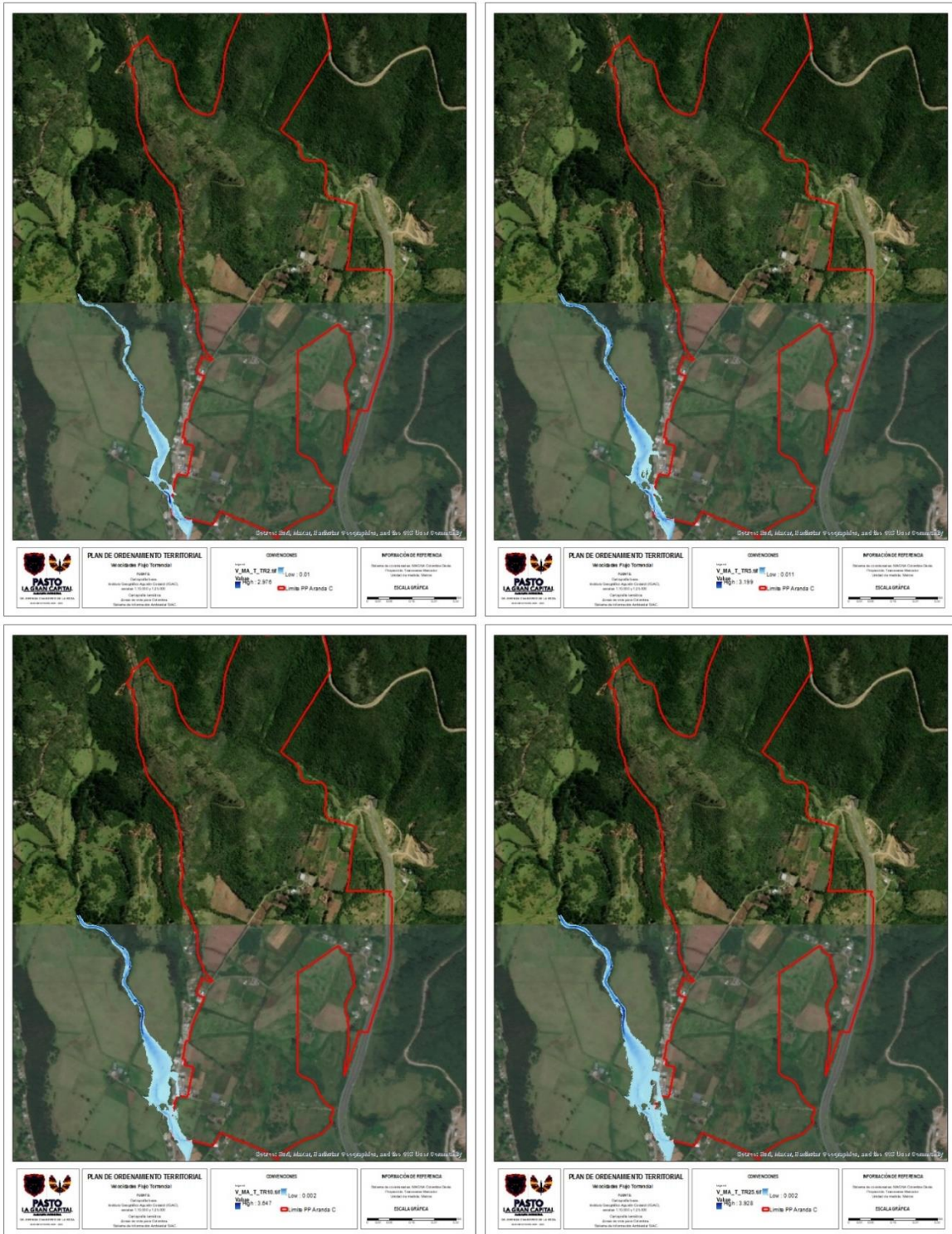
Mapa 56. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – La Rusia.

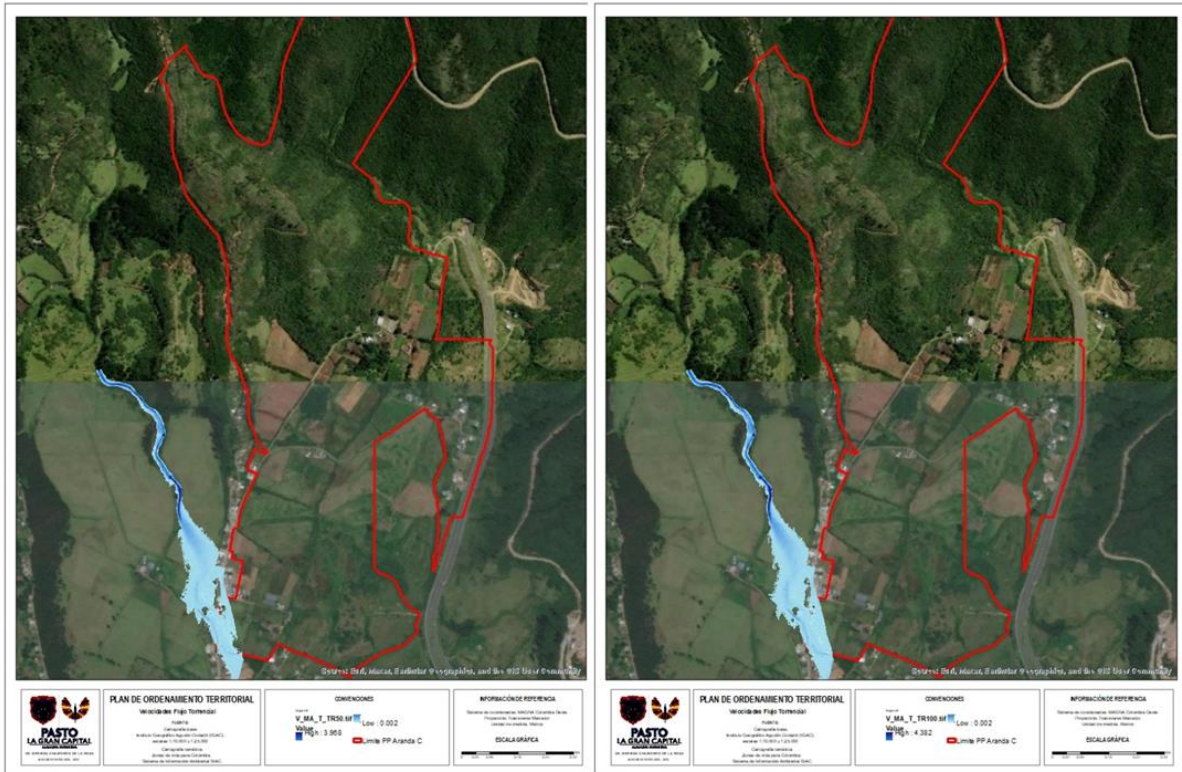


Mapa 57. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años – Magdalena.



Mapa 58. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – Magdalena.





Mapa 60. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años – Magdalena.

2.2.5.4.4 Categorización de la amenaza.

La categorización de la amenaza se la realiza con base en las curvas de intensidad de flujo, estas fueron encontradas en forma distribuida con base en los diferentes tiempos de retorno para lo cual fueron realizadas las diferentes simulaciones. La Figura 53 a Figura 55, se muestra un ejemplo de dichas curvas de amenaza para un punto aleatorio seleccionado para cada cuenca del área de estudio, el cual fue construido mediante las simulaciones numéricas y la metodología descrita en la guía del SGC.

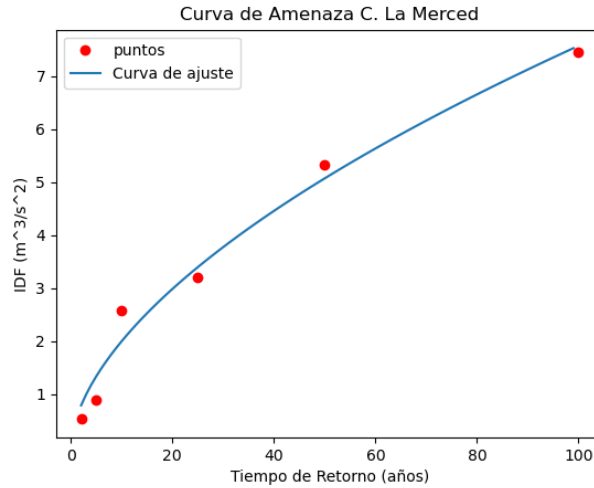


Figura 53. Punto aleatorio de ajuste curva de amenaza fenómeno avenidas torrenciales – La Merced.

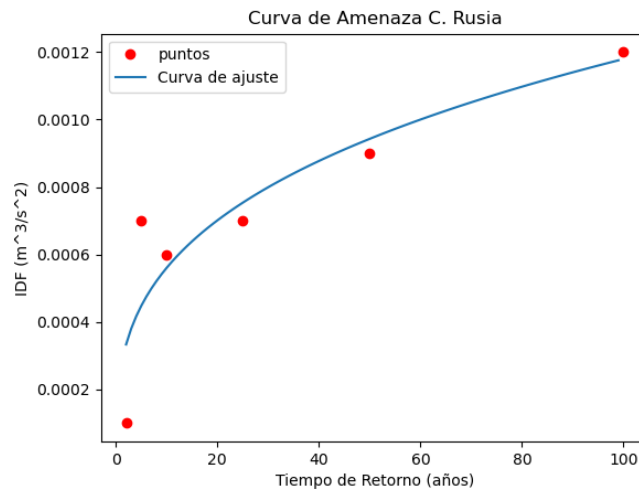


Figura 54. Punto aleatorio de ajuste curva de amenaza fenómeno avenidas torrenciales – La Rusia.

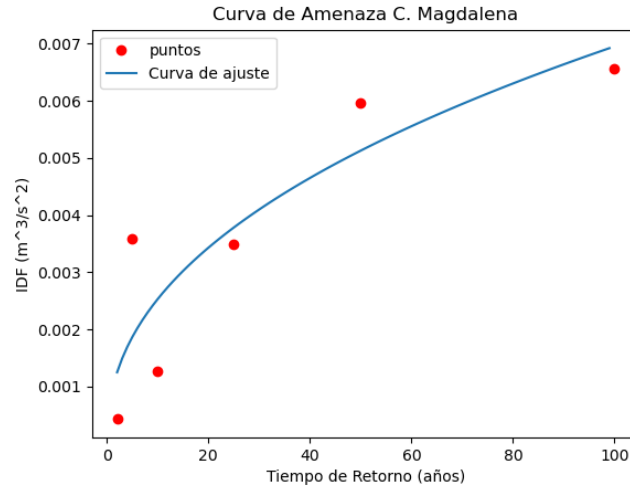
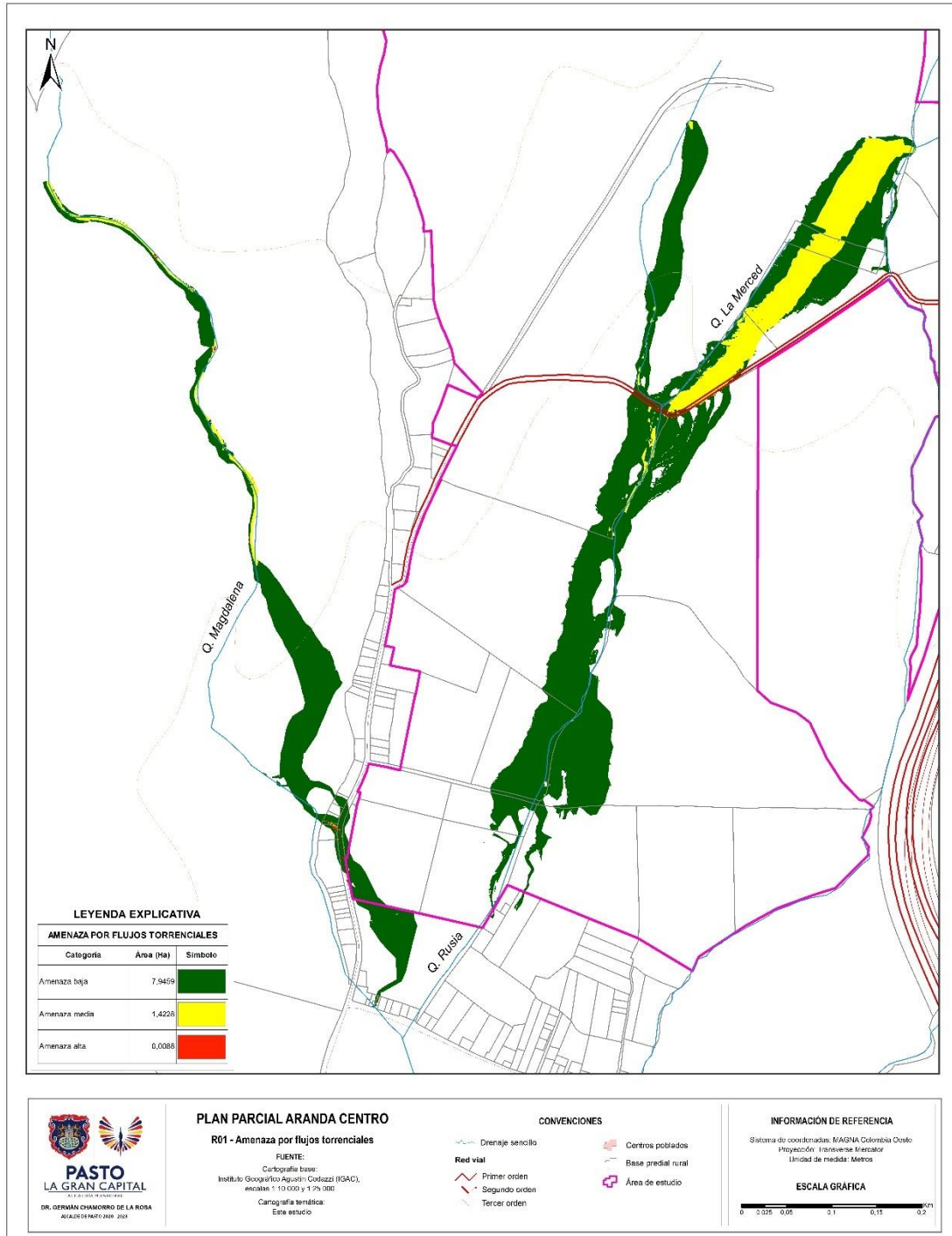


Figura 55. Punto aleatorio de ajuste curva de amenaza fenómeno avenidas torrenciales – La Magdalena.

Una vez definidas las diferentes curvas del índice de intensidad de flujo se procedió a seleccionar una probabilidad de ocurrencia del fenómeno, para ello se utilizó la distribución normal, la cual es recomendada por la guía cuando hay bajo conocimiento del fenómeno y un índice de confiabilidad de 2.5, dando una probabilidad de ocurrencia de 0.00621 correspondiente a un tiempo de retorno de 161 años. El resultado de amenaza por flujos torrenciales usando los dos criterios de zonificación se presenta en el Mapa 61. En los resultados se puede observar que el predio en estudio se encuentra en amenaza baja frente a este fenómeno.



Mapa 61. Zonificación de amenaza producto de la agregación de las zonificaciones con los dos diferentes criterios mencionados – Cuencas de aporte.

2.2.5.5 Vulnerabilidad

Los análisis de vulnerabilidad se hicieron en las zonas identificadas como de amenaza media, el procedimiento empleado se realiza principalmente en zonas ocupadas por edificaciones, sin embargo, esta metodología es aplicable en las zonas sin ocupar o proyectados para expansión planteando los escenarios futuros de ocupación o de cambio de uso como sucede con el Plan Parcial Aranda Central.

De acuerdo con el Decreto 1807 de 2014, promulgado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, las etapas generales que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad son:

- Identificación y localización de los elementos expuestos.
- Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia.
- Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad.
- Zonificación de la vulnerabilidad.

2.2.5.5.1 Identificación de Elementos expuestos.

Tipo de elementos expuestos	Denominación de la afectación	Elementos del entorno	Elementos del proyecto
Elementos físicos	Daño o pérdida	Infraestructura Red vial	Edificaciones Red vial

Tabla 97. Clasificación y caracterización de elementos expuestos y su afectación.

- **Caracterización de los elementos expuestos**

Tomado de lo expuesto por SGC (2016): "Cada elemento identificado y localizado se debe describir y categorizar en función de sus características de tipología, exposición y fragilidad, con el propósito de evaluar su vulnerabilidad Física".

Edificaciones:

La estructura que queda dentro de la zona con amenaza media es área útil – comercio.

Red vial:

La red vial con probabilidad de vulnerabilidad a amenaza media se clasifica en vial local de tipo:

- Vías locales
- Vías arteriales

- **Exposición**

La exposición evaluada solo tiene un escenario posible: Elementos ubicados en la trayectoria del flujo o de depósito del material transportado.

La exposición se define en el siguiente escenario o zona, teniendo en cuenta la Guía metodológica del SGC (2015):

Zona	Descripción	Daños esperados
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa y flujo o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.

Tabla 98. Escenario o zona de exposición.

- **Fragilidad**

El factor de fragilidad por el tipo de estructura depende de la tipología de la construcción: las tipologías A y B presentan fragilidad baja (alta resistencia), con valores de este índice cercanos a 0, y las tipologías F y E, las más frágiles con valores cercanos o iguales a 1.0 (Tabla 99).

TIPOLOGÍA DE LA ESTRUCTURA	FRAGILIDAD	Stip
F Construcciones simples	Muy alta	1.0
E Estructuras ligeras	Alta	0.9
D Estructuras con confinamiento deficiente	Media	0.7
C Mampostería reforzada	Baja	0.5
B Edificaciones reforzadas	Muy baja	0.3
A Edificaciones con reforzamiento especial	Extremadamente baja	0.1

Tabla 99. Factor de fragilidad por el tipo de estructura (Stip)

Fuente: SGC (2016), que a su vez fue adoptado de Heinimann (1999) en Du et al., 2013.

Las estructuras expuestas en el casco urbano son tipología A: edificaciones con reforzamiento especial (0.1).

El parámetro de fragilidad para las vías varía en función de su ancho:

- Vías locas = 0.18 = 0.2
- Vías arteriales = 0.2

- **Estimación de la intensidad**

Los valores de intensidad arrojados por FLO-2D varían entre 0.1 y 0.4 para flujos torrenciales, 0.1 para inundaciones 1.0 como condición crítica para movimientos en masa.

Elementos	Intensidad
Área comercial	0.1
Vía local	0.4
Vía arterial	0.6

Tabla 100. Valores de Intensidad en cada bocatoma.

2.2.5.5.2 Estimación de Vulnerabilidad.

La estimación de la vulnerabilidad se realiza a partir de los valores estimados para la intensidad del evento y la fragilidad de las estructuras, teniendo en cuenta la curva de Du et al., (2013):

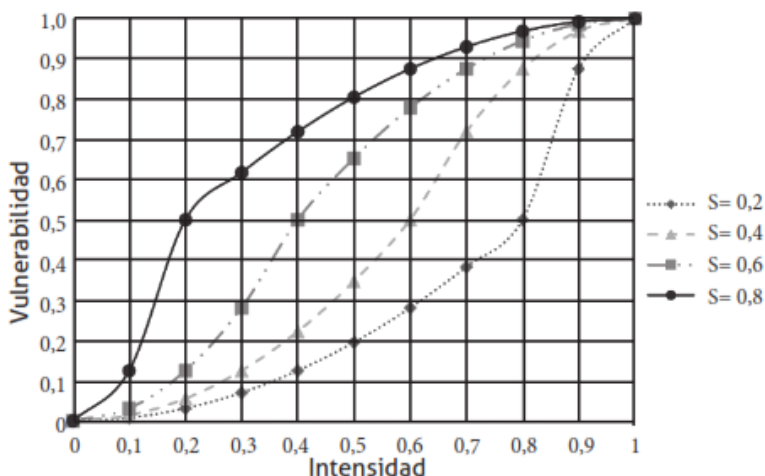


Figura 56. Curva de fragilidad de elementos expuestos.
Fuente: Du et al citado por SGC (2015).

Clasificación de la Vulnerabilidad	Valor de Vulnerabilidad	Nivel de daño
Alta	0.5 - 1	Total – colapso
Media	0.1 – 0.5	Grave
Baja	0.02 – 0.10	Moderado
	0 – 0.02	Leve

Tabla 101. Clasificación de vulnerabilidad.
Fuente: SGS (2015).

Elemento	Vulnerabilidad	Clasificación
Área comercial	0.02	Baja
Vía local	0.12	Media
Vía arterial	0.28	Media

Tabla 102. Vulnerabilidad inundación y flujo torrencial.

2.2.5.6 Riesgo

El análisis del riesgo se hace mediante el reconocimiento y comprensión de las amenazas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Para su valoración se propone la matriz

		Vulnerabilidad		
		Baja	Media	Alta
Amenaza	Baja	Bajo	Bajo	Medio
	Media	Bajo	Medio	Alto
	Alta	Medio	Medio	Alto

presentada en la

Tabla 103.

La matriz de valoración el riesgo utilizando criterios de amenaza y vulnerabilidad netamente cualitativos. La amenaza y vulnerabilidad pueden ser alta, media y baja y una vez determinados se realiza la combinación o producto de estos criterios.

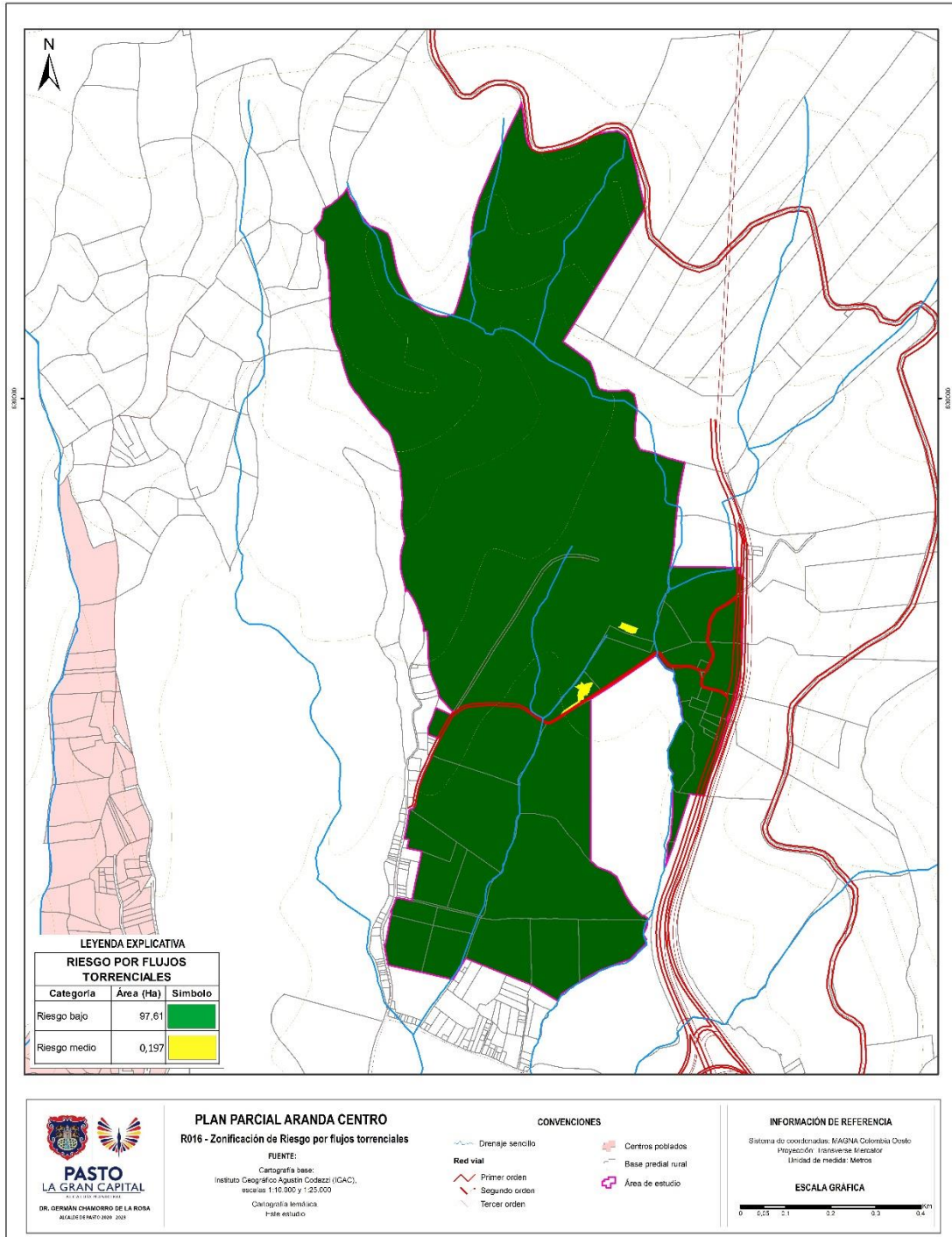
$$\text{Riesgo} = \text{amenaza} * \text{vulnerabilidad}$$

		Vulnerabilidad		
		Baja	Media	Alta
Amenaza	Baja	Bajo	Bajo	Medio
	Media	Bajo	Medio	Alto
	Alta	Medio	Medio	Alto

Tabla 103. Matriz de valoración para estructuras de riesgo cualitativo para movimientos de masa flujo torrencial e inundación.

Estructura	Valoración del riesgo por flujos torrenciales
Área comercial	Bajo
Vía local	Medio
Vía arterial	Medio

Tabla 104. Valoración de riesgos en estructuras y redes.



Mapa 62. Zonificación de Riesgo.

2.2.5.7 Medidas de Mitigación

En el momento de presentación de proyecto de urbanización, el constructor deberá realizar los estudios de suelos en coordinación con el área de geología en donde se permitan caracterizar los materiales predominantes en la zona y sirvan de insumo para la determinación de perfiles estratigráficos y posibles espesores de depósitos y condiciones geotécnicas de los diferentes sitios.

El objetivo principal del estudio de suelos es determinar las características del terreno de la zona de estudio para lo cual se deberá realizar: exploración geotécnica directa en suelo o roca, ensayos de campo y laboratorio que permitan conocer las propiedades físicas, mecánicas y de compresibilidad de los suelos y rocas. Durante la ejecución de las perforaciones (apiques, trincheras o sondeos) el consultor deberá tomar muestras inalteradas de suelo y/o roca para el cumplimiento del plan de ensayos de laboratorio aprobado por la interventoría.

En caso de que por la naturaleza de los materiales encontrados no sea posible la toma de muestras inalteradas, el consultor podrá tomar muestras alteradas, complementadas con la ejecución de ensayos de campo. La ejecución de las perforaciones, así como la recuperación de las muestras deberá estar supervisada en campo por un ingeniero geotecnista.

Dentro del alcance del estudio de suelos, se deberá tener en cuenta la toma de muestras y análisis granulométrico del lecho de los cauces que permitan contar con los insumos necesarios para la modelación hidráulica y estudios de socavación y sedimentación de los materiales transportados por las quebradas. Los estudios de suelos se desarrollarán teniendo en cuenta la normatividad que aplique como en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes NSR-10 (Ley 400 de 1997 y Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 respectivamente), Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14), Especificaciones Técnicas del Instituto Nacional de Vías INVIAS, y toda aquella que para tal efecto regule su ejecución.

El estudio de suelos deberá contener como mínimo la siguiente información:

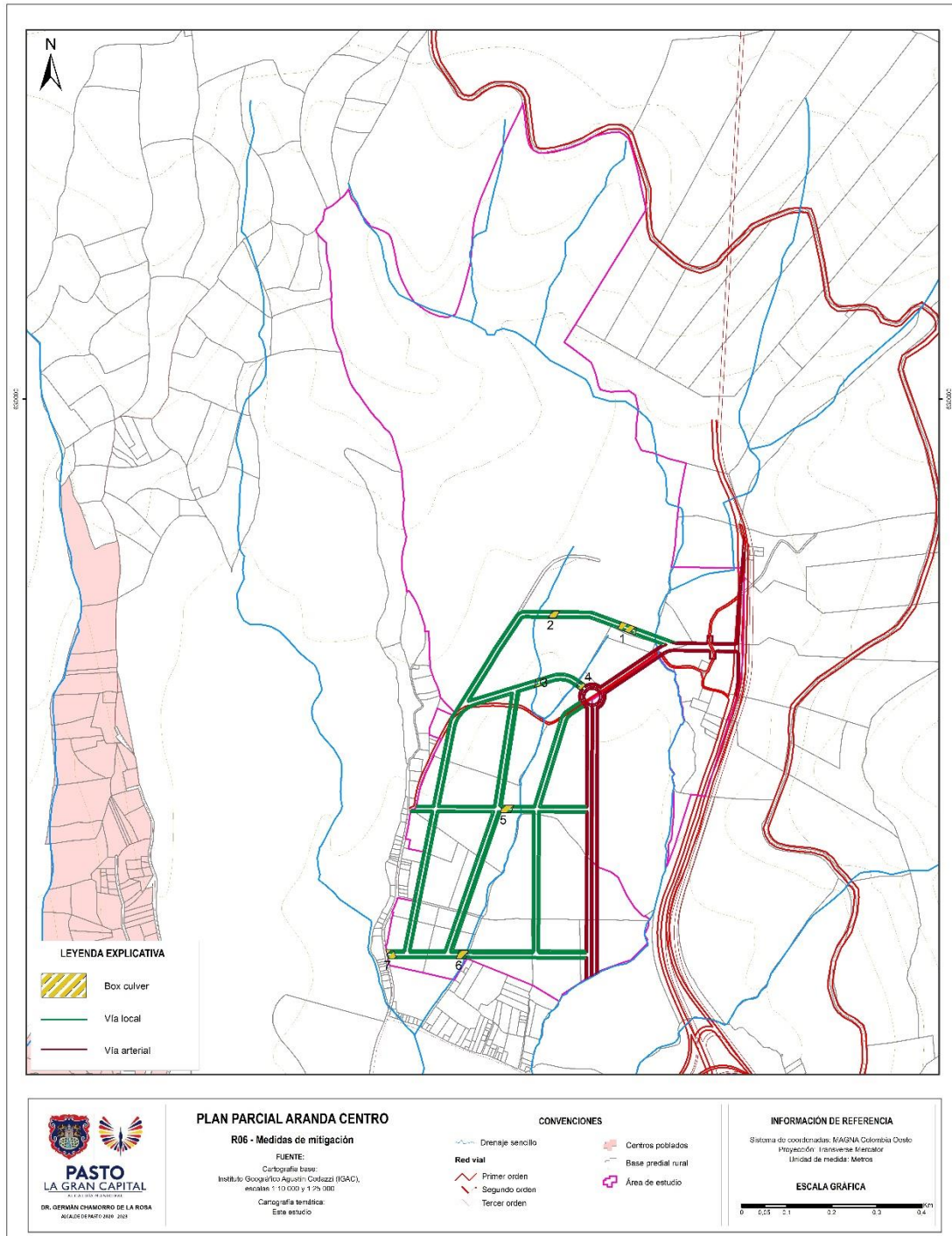
- Antecedentes.
- Descripción general de cada unidad estudiada.
- Informe de visita de campo por parte del especialista en geotecnia de la zona de estudio y de cada uno de los puntos en donde se presenten fenómenos de remoción en masa.
- Formulación y justificación del plan de exploración directa e indirecta y plan de ensayos de laboratorio de la zona.
- Trabajos de campo de exploración directa. En este numeral se deberán presentar los resultados encontrados durante la ejecución de las perforaciones en donde se indique la localización y profundidad de cada una de las perforaciones, descripción y resultados de ensayos de campo ejecutados, descripción visual e identificación de las muestras tomadas en suelos, depósitos y rocas, registro fotográfico de la exploración. La exploración de campo toma de muestras, transporte de muestras, descripción e identificación de muestras y

- ensayos de campo deberá ejecutarse a la luz de las normas de ensayo de materiales para carreteras del INVIAS o Norma Técnica Colombiana vigente.
- Ensayos de Laboratorio. En este numeral se deberán presentar los resultados y análisis de los ensayos de laboratorio ejecutados de acuerdo con el plan de ensayos de laboratorio.
- Modelo geológico geotécnico de análisis, dentro del cual se debe considerar entre otras: secciones de análisis, condiciones del estado de esfuerzos, presiones de poros condiciones geotécnicas particulares.
- Modelo de estabilidad de taludes, Para los casos de corte de talud y/o movimientos de tierra.

Dentro de los estudios de diseños para el desarrollo de cualquier tipo de infraestructura se deben seguir como base los requerimientos técnicos (caracterización geológica – geotécnica del subsuelo) de la Norma NSR-10 Título H.3, la densidad de exploración directa a 3 sondeos para una categoría de unidad de construcción baja a una profundidad de 6 metros, 4 sondeos para una categoría de unidad de construcción media a una profundidad mínima de 15 metros, 4 sondeos para una categoría de unidad de construcción alta a una profundidad mínima de 25 metros, a 5 sondeos para una categoría de unidad de construcción especial a una profundidad mínima de 30 metros. Lo anterior debe ser presentando como un informe técnico específicamente del área en cuestión y considerando el tipo de infraestructura a desarrollar en el predio.

En lo concerniente a obras hidráulicas es necesario tomar como referente la estimación de caudales de crecientes, con alcance de dimensionamiento de las estructuras del sistema de drenaje. (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009). Su finalidad es el diseño de estructuras de capacidad apropiada utilizando los caudales generados en el estudio hidrológico. Las estructuras pueden ser de desvío, control, protección, remoción o de cruce bajo una vía. (Roshan Pastel, 2019).

Específicamente en referente a la mitigación del riesgo medio por flujo torrencial y movimiento en masa se plantea como medida de Estructural la construcción de siete (7) Box Culvert para el acondicionamiento de infraestructura vial y fuentes hídricas de acuerdo a el mapa de localización en la propuesta urbanística, las dimensiones de los mismos son de: 3 m de ancho, 2 m de alto y de longitud de 5 m de acuerdo a los perfiles de vía proyectadas en la propuesta urbanística.



Mapa 63. Medidas Estructurales Mitigación de Riesgo por inundación y flujo Torrencial.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1	CONSTRUCCION DE BOX H=2,00M; B=3,00M; L=5,00M				
1.01	Localización y replanteo	DIA	5	\$ 474,817.00	\$ 2,374,085.00
1.02	Excavación mecánica para box coulvert	M3	157.5	\$ 29,973.64	\$ 4,720,848.75
1.03	Mejoramiento de base de box coulvert con material de subbase	M3	19	\$ 165,469.62	\$ 3,143,922.78
1.04	Retiro de material de excavación de box coulvert	M3	19	\$ 39,513.65	\$ 750,759.35
1.05	Concreto de 2000 PSI para solado e=0.1m	M3	2.99	\$ 767,040.67	\$ 2,293,451.59
1.06	Concreto de 3000 PSI para Cajon y Aletas	M3	37.9	\$ 1,025,427.33	\$ 38,863,695.81
1.07	Acero de refuerzo de Fy=60.000 PSI para BOX COULVERT	KG	3524	\$ 9,374.58	\$ 33,036,005.18
1.08	Construcción de Baranda metálica para Box Couvert	ML	6	\$ 275,619.00	\$ 1,653,714.00
1.09	Gavión de Malla de Alambre de Acero Entrelazada	M3	40	\$ 221,981.67	\$ 8,879,266.70
1.10	Rellenos Para Estructuras con Recebo.	M3	173.25	\$ 71,476.16	\$ 12,383,244.89
	TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 108,098,994.05
	COSTOS INDIRECTOS				
	ADMINISTRACION			20%	\$ 21,619,798.81
	IMPREVISTOS			2%	\$ 2,161,979.88
	UTILIDAD			7%	\$ 7,566,929.58
	COSTOS DE LA OBRA				\$ 139,447,702.33

Tabla 105. Presupuesto Medidas de Mitigación

Lo que nos indica un costo aproximado de la obra para siete (7) Box Couvert de \$ 976133914

3. FORMULACIÓN

3.1 PLANTEAMIENTO URBANO

3.1.1 Concepto de diseño urbano

El plan parcial Aranda Central se configura como una pieza completa e integrada de ciudad que promueve la **conectividad ecosistémica** a partir de la estructuración de corredores ambientales sobre cuerpos hídricos, la **eficiencia funcional** de los sistemas de soporte urbano que garantizan la habitabilidad del conjunto, la **mezcla equilibrada de usos** como cualidad que garantiza el desarrollo armónico de las actividades residencial, comercial, de servicios e industrial y el **reparto equitativo de cargas y beneficios**.

- Conectividad ecosistémica

El planteamiento urbanístico está orientado hacia la articulación de los elementos de la estructura ecológica principal asociados a parques, zonas verdes y vías urbanas con potencial de conectividad ambiental localizados en el sector de Aranda y, el Parque Reserva Natural Janacatú y el corredor ecológico Morasurco-Cabrera; de este modo los elementos del sistema hídrico y, particularmente la quebrada La Rusia se posiciona como un parque - corredor estructurante de la apuesta urbanística y principal estrategia para la estructuración del sistema de espacio público y la consolidación de áreas de amortiguamiento, articulación y conectividad ecosistémica, ciudad – territorio.

- Eficiencia funcional

El logro de la eficiencia de los sistemas de soporte urbanos se fundamenta en las siguientes estrategias:

Modelo de supermanzanas

El modelo de supermanzana se constituye en la estrategia relacionada con la capacidad del sistema urbano para optimizar la eficiencia, implementando la unidad funcional de movilidad (supermanzana) mediante la cual se articulan los modos de transporte para minimizar el consumo de recursos y fortalecer la interacción de los ciudadanos.

El modelo conforma un sistema de vías arterias que le dan soporte a la conectividad con la ciudad y la vía de primer orden Paso nacional por Pasto, soportando la mayor carga vehicular y delimitando la supermanzana. De este modo se libera la presión vehicular sobre el interior del área del Plan Parcial Aranda Central cuya accesibilidad y conectividad esta soportada por una trama de vías locales que priorizan la movilidad para el peatón y la bicicleta.

- Habitabilidad urbana

Como cualidad que desde el exterior se proporciona a los espacios interiores, la habitabilidad urbana del área de planificación Plan Parcial Aranda Central, se resuelve (i) mediante la dotación de espacio público y equipamientos localizados de manera estratégica sobre el eje ambiental Quebrada La Rusia y de manera adyacente al Centro Poblado San Antonio de Aranda (ii) la promoción de actividades mixtas, condición que es capaz de promover la interacción y cohesión urbana y (iii) mediante el modelo de

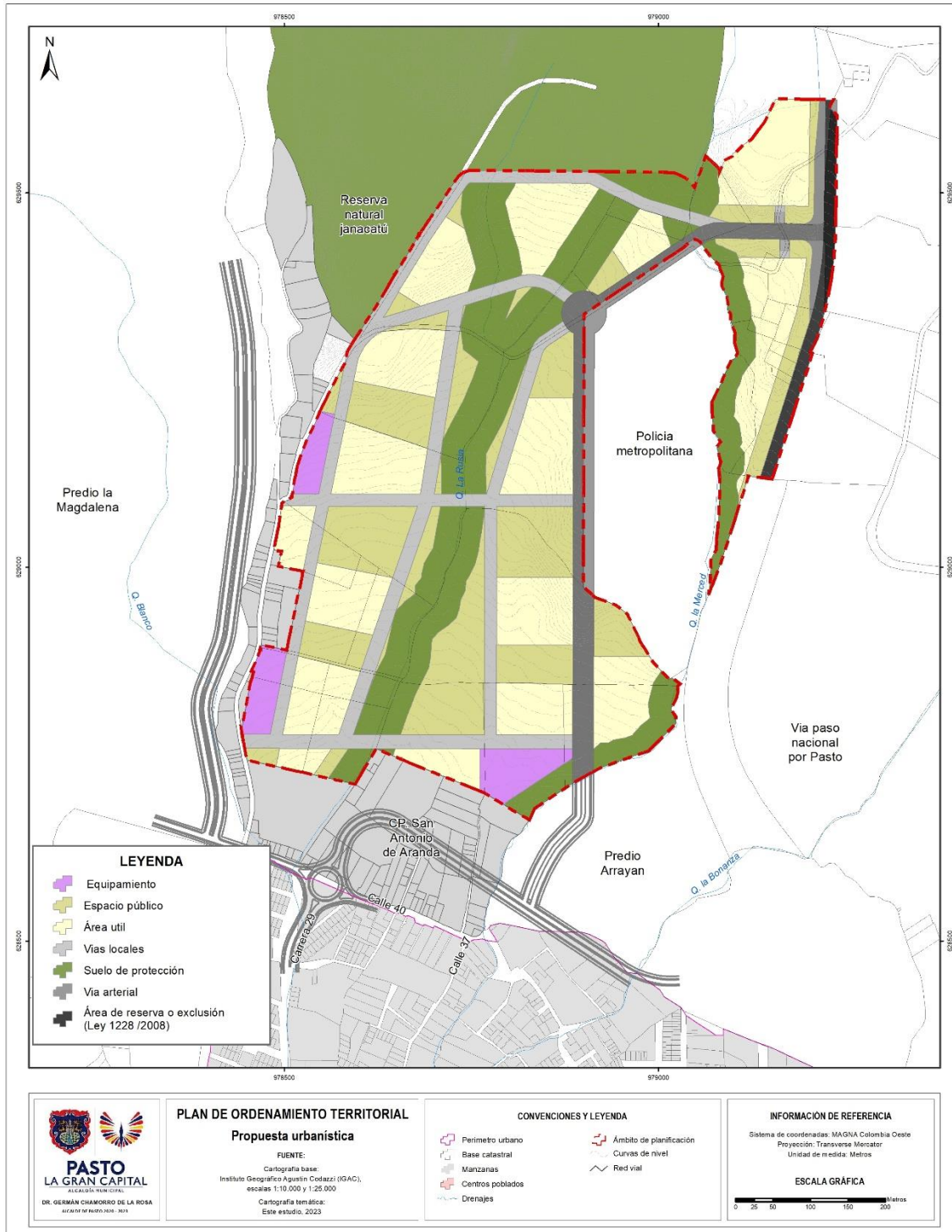
ocupación que determina densidades, aislamientos y volumetría y promueve el dinamismo económico del sector de intervención y su área de influencia.

- Mezcla equilibrada de usos mixtos, vivienda y suelo industrial

Dicha cualidad que garantiza el desarrollo armónico de las actividades residencial, comercial, de servicios e industrial donde:

- Los usos institucionales y comerciales se localizan estratégicamente sobre áreas en colindancia con el centro poblado San Antonio de Aranda con el fin de que a través de estos usos se preste servicio a las áreas consolidadas de fuera del ámbito del Plan y así mismo en su interior.
 - En el ámbito de formulación del Plan Parcial se promueven usos mixtos con actividades de bajo impacto en relación con la actividad residencial.
 - El uso industrial se desarrolla en los predios donde el Artículo 310 del Acuerdo 004 de 2015 determinó como Área Industrial Aranda, localizada sobre una franja paralela a la vía de primer orden Paso nacional por Pasto.
- Reparto equitativo de cargas y beneficios

Establece las condiciones urbanísticas, de gestión y de financiación para el desarrollo del área del Plan Parcial Aranda Central, garantizando el derecho de todos los propietarios de predios a participar de los beneficios en proporción a sus aportes y de las cargas en proporción a los beneficios que trae el desarrollo del Plan. Para este propósito, la propuesta urbanística prevé que todos los predios que hacen parte del ámbito de formulación cuenten con área útil en el mismo predio.



Mapa 64. Propuesta urbanística
Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

3.1.2 Sistema de servicios públicos

Se considera como servicio público, toda actividad organizada que satisface necesidades de interés general en forma regular y continua, de acuerdo con un régimen jurídico especial, realizado por el Estado directa o indirectamente, o por personas privadas.

Los servicios públicos son administrados por el Estado a través de instituciones públicas creadas para tales fines, aunque también pueden recaer en las empresas privadas, siempre y cuando estas se sujeten al control, vigilancia y fiscalización del Estado, y cumplan con las normas y leyes vigentes.

En el municipio de Pasto existen empresas públicas y privadas, dedicadas a satisfacer las necesidades en los diferentes sectores que abarcan los servicios públicos, de la siguiente manera:

- Agua potable y alcantarillado: EMPOPASTO S.A. E.S.P.
- Recolección de residuos sólidos: EMAS BY VEOLIA.
- Energía eléctrica: Centrales Eléctricas de Nariño – CEDENAR S.A. E.S.P.
- Gas Natural domiciliario - GND: Alcanos de Colombia S.A. E.S.P.
- Gas Licuado de Petróleo – GLP: MONTAGAS S.A. E.S.P. y SUPERGAS DE NARIÑO S.A. E.S.P.

La Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A.E.S.P. es una entidad pública, encargada de llevar agua potable a más de 350.000 habitantes. Se destaca por su moderna infraestructura, la calidad de su servicio y sus labores en responsabilidad social.

En la actualidad, EMPOPASTO S.A.E.S.P. opera cuatro plantas de tratamiento de agua potable. La planta Centenario abastece al 80 por ciento de los usuarios. Conjuntamente con las plantas Mijitayo y San Felipe, producen mensualmente cerca de 1,5 millones de metros cúbicos de agua para proveer con suficiencia a cerca de 400.000 habitantes de la ciudad.

De la misma forma, la planta de Guadalupe presta el servicio en las zonas de expansión de Aranda y Jamondino, priorizadas por el Plan de Ordenamiento Territorial para el desarrollo urbanístico de Pasto. Esto constituye un sistema de respaldo que garantiza seguridad hídrica a toda el área de prestación de servicio de la empresa. Igualmente, para la distribución del líquido vital, EMPOPASTO S.A.E.S.P. cuenta con una red de más de 500 kilómetros en acueducto y una extensión similar en alcantarillado.

Por otra parte, la empresa Centrales Eléctricas De Nariño es la electrificadora Nariñense, que fue constituida el 9 de agosto de 1955, mediante escritura pública número 2059 de la Notaría Cinco del Circuito de Bogotá y aprobada por la Superintendencia de Sociedades, mediante la Resolución 1055 del 24 de octubre de 1955.

Actualmente CEDENAR cuenta con 2 centrales hidroeléctricas, la central hidroeléctrica Rio bobo que se encuentra ubicada en la represa del Rio bobo, corregimiento de Santa Bárbara, la cual fue construida en el año de 1960 y tiene una generación promedio de energía anual de 17.651 MWH y la central hidroeléctrica Julio Bravo, la cual se encuentra ubicada en la vereda de Cachatoy, en el sector de Julio Bravo, cañón del Rio Pasto, actualmente tiene una generación promedio de energía anual de 6.000 MWH.

3.1.2.1 Acueducto

De acuerdo a la Factibilidad de Servicios de Acueducto y Alcantarillado entregada a la Secretaría de Planeación Municipal, mediante oficio N° 20157300191611 del 11 de noviembre de 2015 – Factibilidad de servicios de acueducto y alcantarillado para el proyecto Plan Parcial Aranda. Se definen las siguientes consideraciones para la prestación de los servicios del plan parcial:

Teniendo en cuenta que no se conoce la información definitiva proyectada en el Plan parcial, es posible que para garantizar el suministro de agua sea necesario desarrollar obras de ampliación o renovación de la infraestructura de redes de acueducto; igualmente se puede requerir ampliación o renovación de la infraestructura de redes de alcantarillado.

La Factibilidad de Servicios queda supeditada a que el plan parcial, no se encuentre en zona de alto riesgo de tipo geológico, hidráulico o eléctrico, o genere afectaciones a rondas hídricas o a otros sistemas de acueducto existentes en la zona.

De acuerdo al oficio citado anteriormente, se establecen las alternativas de conexión de acueducto y alcantarillado pluvial y sanitario, alternativas dadas como respuesta al oficio de solicitud de factibilidad de servicios de acueducto y alcantarillado para el Plan Parcial Aranda, solicitado por la Secretaría de Planeación Municipal a la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A.E.S.P. en 2015. Se aclara que el Urbanizador – Constructor, deberá solicitar la disponibilidad de servicios y bases técnicas de diseño al prestador del servicio, quien entregará un documento técnico que defina los puntos definitivos de conexión de las redes de acueducto, al alcantarillado sanitario y pluvial y las especificaciones técnicas para las acometidas de acueducto y conexiones domiciliarias que se deban realizar.

Alternativas de conexión

De conformidad con la factibilidad expedida por la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A. E.S.P. se establecen los siguientes puntos de conexión para el servicio de acueducto:

- Línea de conducción de sistema de acueducto Piedras, sobre carrera 19, vía Paso por Pasto y salida antigua al norte: tubería en hierro dúctil (HD) Diámetro = 350 mm (14 pulgadas), Longitud = 562 metros. Estado físico de la tubería: bueno.
- Tanque de almacenamiento Piedras - Aranda (capacidad 2500 m3), salida antigua al norte.
- Red de distribución sector Cujacal bajo - Aranda, sobre calle 40: tubería PVC DN = 8 pulgadas, Longitud = 248 metros. Estado físico de la tubería: bueno.
- Red de distribución sector Cujacal bajo - Aranda, sobre calle 40 y calle 22: tubería PVC y AC DN = 10 pulgadas, Longitud = 937 metros. Estado físico de la tubería: bueno.
- Red de distribución proyectada sistema de acueducto Aranda - Piedras: tubería PVC DN = 350 mm (14 pulgadas), Longitud= 487 metros.

El urbanizador – constructor deberá tener en cuenta la localización de estas redes para la implantación urbanística, proyectando vías o áreas públicas sobre los corredores de estas tuberías o en su defecto deberá realizar a su costa la variación de las redes, si llegara a ser

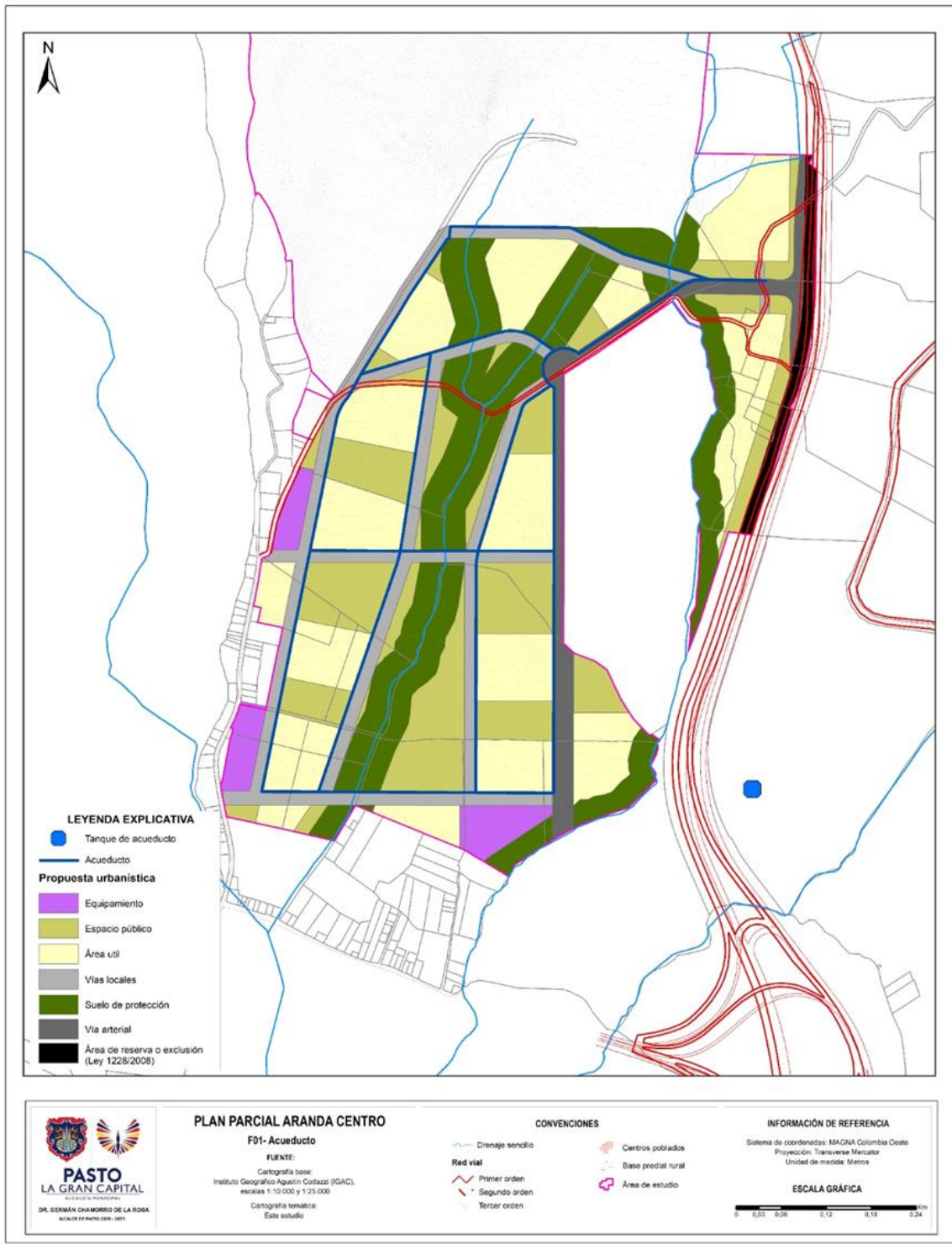
necesario, garantizando mantener su estabilidad y sus condiciones hidráulicas, concertando previamente con EMPOPASTO S.A. E.S.P. las modificaciones propuestas.

Para la etapa de certificación de disponibilidad de servicios y bases técnicas de diseño, se deberá dar a conocer a Empopasto SA ESP, la información detallada de la demanda requerida, de acuerdo con las densidades de población -viviendas por hectárea y usos del suelo definidos por la Secretaría Municipal de Planeación.

La alternativa de abastecimiento de agua potable para el Plan Parcial Aranda es la siguiente:

- Sector hidráulico: Aranda expansión
- Cota máxima de servicio: 2700 msnm
- Tubería proyectada PVC DN = 350 mm (14 pulgadas).
- Punto: caja de válvula de cierre, aguas abajo tanque Aranda. Coordenadas (sistema Colombia West Zone -CWZ):
- E = 979152.658 m N = 628778.936 m
- Presión estática máxima en el punto: 62.97 m H₂O.

A continuación, se presenta un mapa con la proyección de las redes de acueducto, hasta los puntos de empalme con la infraestructura existente, relacionados anteriormente.



Mapa 65. Trazado de la red de acueducto Plan Parcial Aranda Central.
Fuente. Este estudio.

3.1.2.2 Alcantarillado

De conformidad con la factibilidad expedida por la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S. A E.S. P se establecen los siguientes puntos de empalme o conexión para el servicio de alcantarillado:

Requisitos generales

- El urbanizador - constructor deberá solicitar disponibilidad de servicios y bases técnicas de diseño conforme a los requerimientos establecidos por Empopasto S.A. E.S.P.
- Los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial del Plan parcial, deberán proyectarse separados bajo los criterios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).
- De acuerdo con las densidades de población y usos del suelo definidos por la Secretaría Municipal de Planeación, el urbanizador - constructor deberá realizar la evaluación y diagnóstico de la capacidad hidráulica y estructural de los colectores a los que se realizarán las entregas o descargas, determinando si se presenta déficit y planteando las soluciones de refuerzo que sean necesarias, las cuales deberán contar con aceptación de Empopasto S.A. E.S.P.
- Es importante señalar que los refuerzos podrán requerirse hasta sitios localizados por fuera de los límites del Plan parcial. En el proyecto deberán figurar las notas correspondientes a los resultados de la inspección y condiciones de funcionamiento de los sistemas existentes.
-
- El urbanizador - constructor deberá presentar los diseños de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial proyectados para la aprobación de Empopasto S.A. E.S.P.

Alcantarillado sanitario

Para el drenaje sanitario y pluvial del Plan Parcial Aranda, se proyecta la construcción del colector separado Aranda, actualmente en proceso de contratación por parte del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio a través de FINDETER SA.

El colector sanitario proyectado en PVC diámetro 452 mm, proporciona las siguientes alternativas para empalme o conexión:

– Alcantarillado sanitario punto 1:

Pozo de inspección alcantarillado sanitario proyectado.

Localización: Calle 40 con carrera 29.

Coordenadas (sistema CWZ): E = 978520.973 N = 628601.222

Profundidad = 2.96 m

Cota rasante (tapa) = 2656.500 msnm

Cota batea salida = 2653.540 msnm

– Alcantarillado sanitario punto 2:

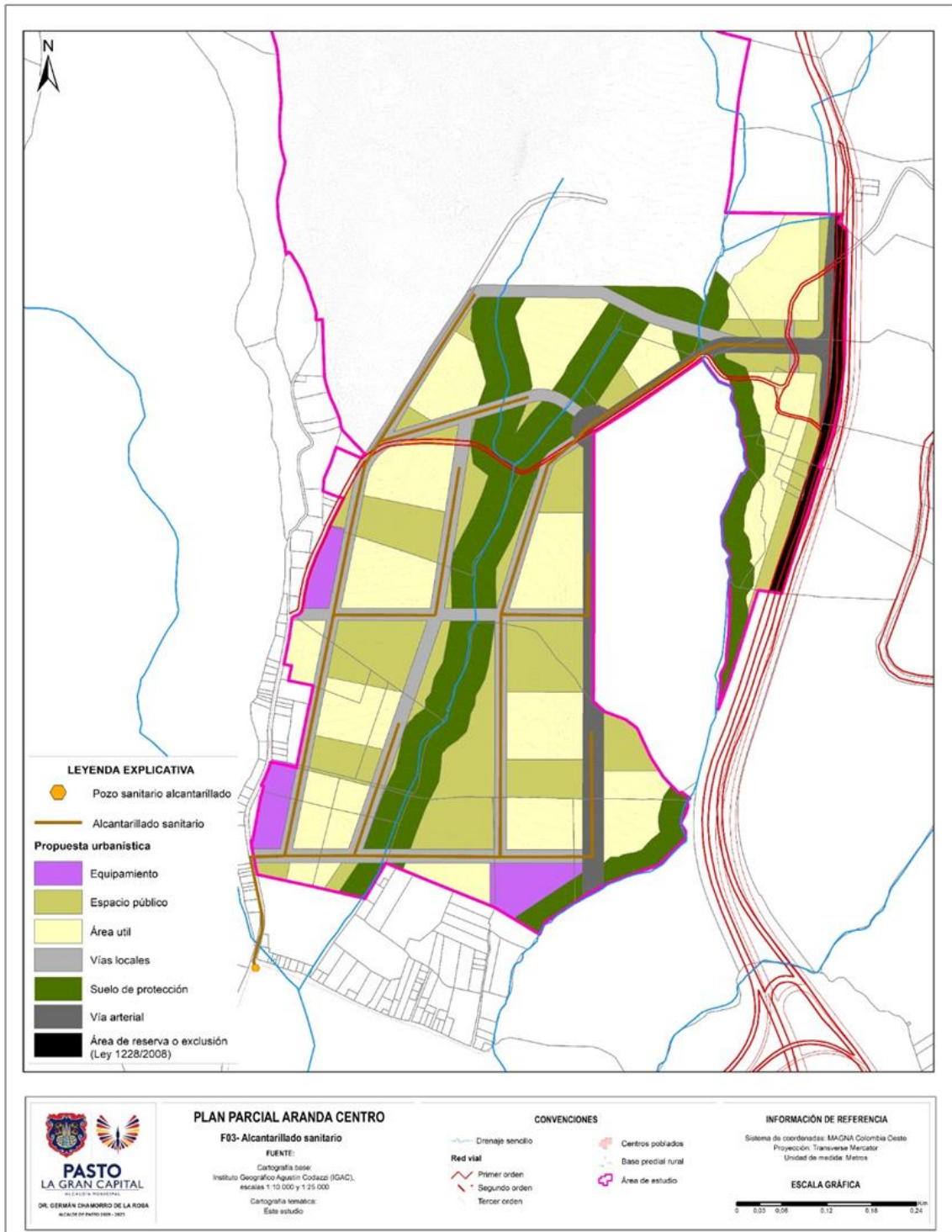
Pozo de inspección alcantarillado sanitario proyectado.

Localización: Calle 40 con carrera 32 (antes 22 bis).
Coordenadas (sistema CWZ): E = 978453.234 N = 628623.348
Profundidad = 8.54 m
Cota rasante (tapa)= 2661.779 msnm
Cota batea salida = 2653.24 msnm

Las aguas residuales se conducirán mediante un sistema independiente entregando en el punto 2, anteriormente descrito.

Es importante resaltar que el Plan Parcial Aranda entregará las aguas residuales provenientes del desarrollo urbanístico a las redes oficiales de Empopasto S.A. E.S.P, en el punto anteriormente descrito, deberá estar cubierto por el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) vigente, el cual es responsabilidad del prestador, toda vez que la instalación de las redes de acueducto y alcantarillado deberán ejecutarse bajo la supervisión del área de Urbanizadores y Constructores de Empopasto.

A continuación, se presenta un mapa con la proyección de las redes de alcantarillado sanitario, hasta los puntos de empalme con la infraestructura existente, relacionados anteriormente.



Mapa 66. Red de alcantarillado sanitario Plan Parcial Aranda Central. Fuente. Este estudio.

Alcantarillado pluvial

El Plan parcial Aranda colinda con el área de drenaje de las microcuencas de las quebradas Blanco, La Merced y Bonanza. El urbanizador y/o constructor deberá realizar la evaluación técnica y de impacto ambiental si propone la descarga de los caudales pluviales a estos cuerpos hídricos.

El colector pluvial proyectado en GRP 0 1.20 m y Concreto reforzado 0 1.40 m, proporciona los siguientes pozos como alternativas para empalme o conexión:

– **Alcantarillado pluvial punto 1:**

Localización: Calle 40 con carrera 28
Coordenadas (sistema CWZ): E = 978779.557 N = 628506.082
Profundidad = 2.09 m
Cota rasante (tapa)= 2656.130 msnm
Cota batea salida = 2654.040 msnm

– **Alcantarillado pluvial punto 2:**

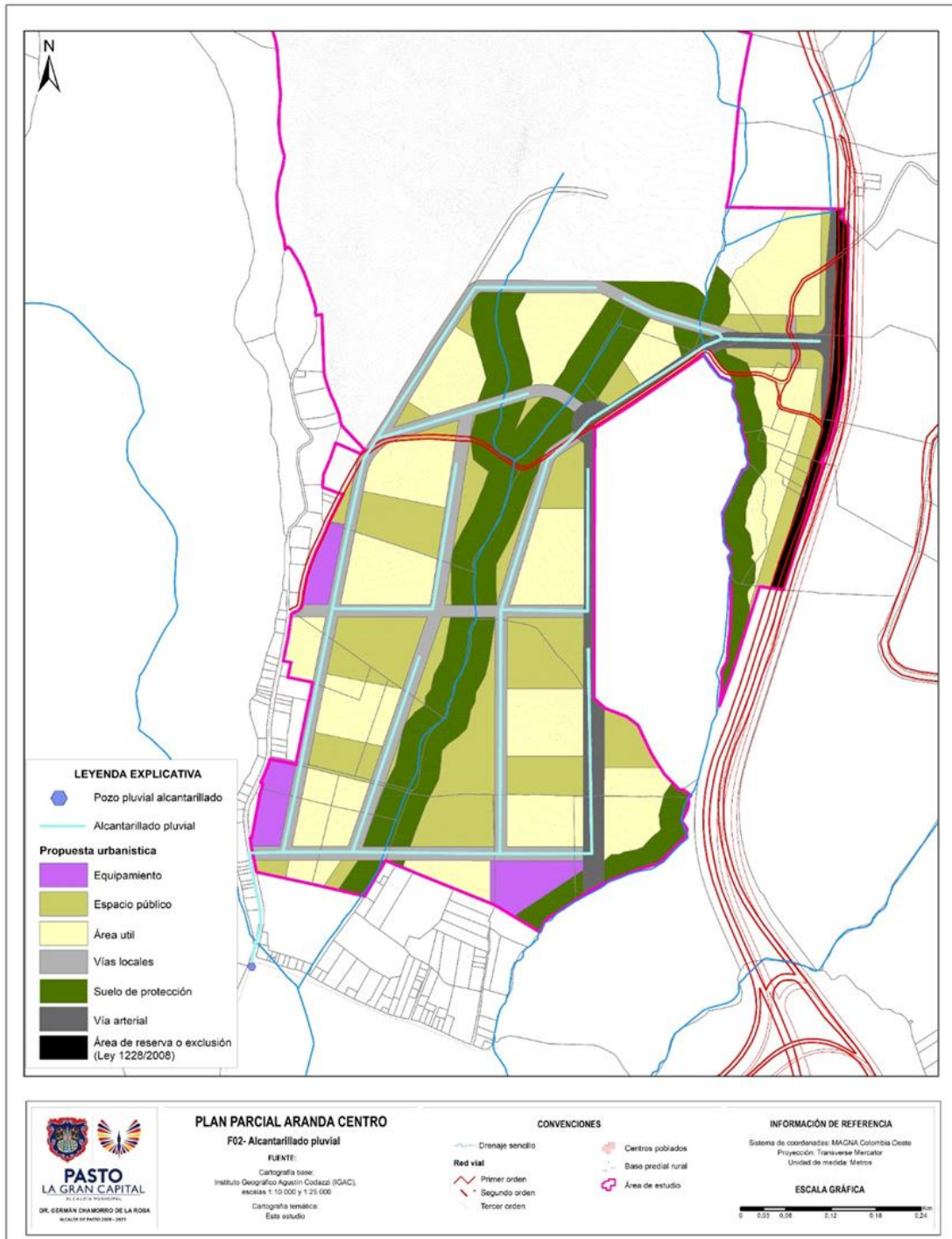
Localización: Calle 40 con carrera 29
Coordenadas (sistema CWZ): E= 978522.653 N = 628597.099
Profundidad = 3.96 m
Cota rasante (tapa)= 2656.720 msnm
Cota batea salida= 2652.760 msnm

– **Alcantarillado pluvial punto 3:**

Localización: Calle 40 con carrera 32 (antes 22 bis).
Coordenadas (sistema CWZ): E = 978454.654 N = 628620.764
Profundidad = 9.22 m
Cota rasante (tapa)= 2661.591 msnm
Cota batea salida= 2652.37 msnm

Por otra parte, las aguas lluvias serán evacuadas mediante un sistema independiente y entregará las aguas captadas, en el punto 3, anteriormente descrito, para ser conducidas por las redes oficiales del prestador, hasta el punto de entrega final.

A continuación, se presenta un mapa con la proyección de las redes de alcantarillado pluvial, hasta los puntos de empalme con la infraestructura existente, relacionados anteriormente.



Mapa 67. Red de alcantarillado sanitario Plan Parcial Aranda Central. Fuente. Este estudio.

3.1.2.3 Sistemas Urbanos De Drenajes Sostenibles (SUDS)

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), integran urbanismo, paisajismo e hidrología. El objetivo es dotar a la ciudad de Pasto, a través del Plan Parcial Aranda Central de capas permeables, que se comportan como sumideros filtrantes que emulan el ciclo natural del agua. El agua filtrada deberá ser captada y gestionada de forma subsuperficial para su reciclado mediante diversas tecnologías en las cuales se encuentran: cunetas verdes, cuencas secas de drenaje extendido, pavimentos y concretos porosos, zonas de bioretención, zanjas de infiltración, humedales artificiales, pondajes húmedos y tanques de almacenamiento, entre otros. El agua producto de la escorrentía es infiltrada al terreno o vertida directamente al cauce natural o fuente receptora, controlando cantidad, reduciendo los efectos de inundaciones, mejorando la calidad del agua que llega a los cuerpos receptores e incentivando el reúso de agua.

En la propuesta urbanística del Plan Parcial Loma de Centenario, se posibilita el planteamiento y desarrollo de SUDS en la configuración vial y de los espacios públicos y privados del proyecto. Sin embargo, la delimitación, diseño, estructuración, gestión y construcción de los mismos estarán sujetos a la ejecución de cada unidad de gestión y serán responsabilidad únicamente del respectivo urbanizador/constructor. Cabe precisar que la capacidad de recolección del sistema debe ser mínimo del 25% con el fin de generar un sistema óptimo y de buen funcionamiento.

Con el objetivo de mitigar el impacto generado por la impermeabilización de las áreas de los proyectos y reducir los picos máximos de los caudales de aguas lluvias de salida, previo a la etapa de licenciamiento urbanístico se deberá presentar a la autoridad competente el diseño definitivo de sistemas urbanos de drenaje sostenible - SUDS; donde se elija el sistema más apropiado para la conducción de las aguas hacia los pozos de alcantarillado pluvial que se implementen en la vía arterial.

Se considerarán las restricciones referentes al dimensionamiento de las tipologías, previo a la aprobación de los diseños urbanísticos y paisajísticos por la entidad municipal competente. El diseñador de SUDS deberá adjuntar un archivo con las características (coordenadas, área superficial, volumen de calidad / almacenamiento por evento de lluvia) de cada tipología de SUDS diseñada con el proyecto, de forma tal que facilite la actualización del inventario de SUDS del municipio dentro de una política municipal de mitigación de impactos por cambio climático.

Los lineamientos del sistema de drenaje son los siguientes:

- Creación de un sistema que retenga un cuarto del agua lluvia que cae en las máximas de lluvia (precipitación), en el ámbito del plan parcial con el fin de minimizar el flujo hacia el punto número 1, que entregará las aguas lluvias al río Pasto a la altura del conjunto residencial Los Pinos, en las máximas de lluvia.
- Para los flujos subsuperficiales que se han creado por modificaciones en el terreno o por la futura obra de la vía, se deberán resolver a través de un sistema de filtros que permita conducir estos flujos.
- El filtro más indicado para es el tipo denominado Frances, que a través de un filtro de grava y geotextil permite drenar a un tubo que conduce el agua a los cabezales, que posteriormente descargan al Río Pasto.

En la siguiente imagen se observa un diseño tipo del filtro:



Ilustración 1. Filtro Francés

Fuente. www.diccionario.geotecnia.online/pa/abra/filtro-frances/

Con el objetivo de mitigar el impacto generado por la impermeabilización de las áreas de los proyectos y reducir los picos máximos de los caudales de aguas lluvias de salida, en la etapa de licenciamiento urbanístico se deberá estudiar la posibilidad de implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible -SUDS, para lo cual se considerarán las restricciones referentes al dimensionamiento de las tipologías, previa aprobación de los diseños urbanísticos y paisajístico por parte de la secretaría de planeación; así mismo, si la tipología de SUDS seleccionada requiere cobertura vegetal, deberá realizarse la coordinación correspondiente con la autoridad ambiental del municipio. El diseñador de SUDS deberá adjuntar un archivo con las características (coordenadas, área superficial, volumen de calidad / almacenamiento por evento de lluvia) de cada tipología de SUDS diseñada con el proyecto, de forma tal que facilite la actualización del inventario de SUDS del municipio dentro de una política municipal de mitigación de impactos por cambio climático.

Lineamientos técnicos

Los diseños de los sistemas de acueducto y alcantarillado del proyecto, deberán contemplar lo especificado en la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS y con lo previsto en la normatividad nacional para disponibilidad de servicios públicos.

Para la cuantificación de los consumos de agua potable del proyecto, se debe contemplar la instalación de un macromedidor para su lectura periódica, enseguida del punto de empalme al sistema de acueducto; cuya clase metrológica deberá ser mínimo R800.

Se deberá proyectar las estaciones hidráulicas necesarias para controlar las presiones de servicio y si fuera el caso el nivel de los tanques de almacenamiento de agua del Plan Parcial; las cuales deberán estar dotadas de una válvula principal de control, válvulas de cierre, válvulas ventosas, filtro en yee, salidas para instalación de manómetros, bypass con válvula de cierre y un piloto conectado a la válvula de flotador. Estos sistemas deberán protegerse mediante estructuras o cámaras de inspección de concreto reforzado, con tapa metálica y escalones de acceso.

Tanto en las instalaciones sanitarias internas como en las redes externas, se debe separar los sistemas de recolección y evacuación de las aguas residuales y pluviales. No se permite verter las aguas lluvias a los drenajes sanitarios o viceversa.

Los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial del Plan Parcial, deberán proyectarse bajo los criterios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS).

Lineamientos generales para la implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS

La implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS, como sistemas alternativos de drenaje que hacen parte de la infraestructura urbana del plan parcial.

Objetivo implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS

Reducir los efectos de inundaciones por medio de la retención y/o detención del agua de escorrentía a través de estructuras y/o tipologías diseñadas para promover la infiltración, mejorar la calidad del agua que le llega a los cuerpos receptores, incentivar el reúso de agua, generar amenidad y paisajismo.

Beneficios de la implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenibles SUDS.

- Manejo de la escorrentía tan cerca de la fuente como sea posible, haciendo uso de prácticas a micro-escala (micro-manejo).
- Preservación de cuerpos de agua naturales y las funciones hidrológicas naturales creando paisajes multifuncionales
- Integración de estrategias para el manejo de la escorrentía desde etapas iniciales de planeación y diseño
- Reducción de costos de construcción y mantenimiento de la infraestructura de drenaje convencional de escorrentía.

Tipologías de los sistemas de drenaje sostenible SUDS aplicables al plan parcial

Para el caso específico del Plan Aranda Central, se deberá contemplar en su desarrollo urbanístico la implementación de pavimentos permeables en las zonas de tráfico vehicular y parqueaderos y la preservación de las respectivas franjas de protección hídrica.

De igual manera se deberá contemplar dentro de los diseños arquitectónicos y de ingeniería, sistemas de captación de aguas lluvias provenientes de cubiertas y su disposición en reservorios para su posterior uso con fines no potables.

Pavimentos permeables

Sistemas que permiten infiltrar y/o almacenar temporalmente la escorrentía de un área determinada. Estarán compuestos como mínimo de cuatro capas: (1) una capa superficial

que permite el paso del agua, (2) una capa de nivelación, (3) un reservorio o sub – base y (4) una capa filtrante. La capa superficial puede conformarse por cinco tipos de superficies: adoquines de rejillas de concreto, adoquines entrelazados, concreto poroso, mezcla asfáltica permeable o grava porosa.

3.1.2.4 Redes Eléctricas:

En cuanto a interferencias para el desarrollo urbanístico que se tenga contemplado en el área de estudio, referente a la presencia de redes eléctricas, se evidencia en la siguiente imagen que no se tiene ningún tipo de interferencia que obligue al desarrollador a realizar trámites adicionales ante la empresa de energía y tampoco realizar modificaciones o consideraciones de importancia en el planteamiento del desarrollo urbanístico.

3.1.3 Sistema de Movilidad

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial de Pasto, la movilidad urbana está constituida por un sistema de vías que le dan soporte a la conectividad de la ciudad mediante Red de vías Arterias (A1 - A2 - A3 - A4) las cuales soportan la mayor carga vehicular y tienen la función de conformar y delimitar la unidad básica del sistema de movilidad (Súper Manzana), liberando la presión vehicular sobre el interior del área de planificación y consolidando infraestructuras adecuadas para el peatón y la bicicleta. Las vías locales (L1 - L2 - L3) además de dar acceso al interior de la supermanzana y permitir el estacionamiento en vía, son las que le dan soporte a la red peatonal y de bicicleta; Estas vías son concebidas como espacios urbanos con prioridad peatonal mejorando la habitabilidad en el ámbito del Plan parcial Aranda Central.

3.1.3.1 Vía de primer orden, Paso nacional por Pasto y zonas de reserva para carreteras de la red vial nacional.

De acuerdo con el artículo 2, de la Ley Nacional 1228 de 2008, Artículo 2°. Zonas de reserva para carreteras de la red vial nacional, se establece para la vía nacional Paso por Pasto la faja de retiro obligatorio o área de reserva o de exclusión y que para el caso es de (20) metros que se miden a partir del eje de cada calzada exterior, teniendo en cuenta que, a su paso por el área del Plan parcial, la vía ya cuenta con doble calzada. Si bien dicha área hace parte del área bruta de terreno no se contabiliza como carga general y queda excluida del área de planificación.

3.1.3.2 Subsistema de infraestructura vial

Conformación de la supermanzana en suelo de expansión Aranda y Plan Parcial Aranda Central

La supermanzana en el suelo de expansión Aranda y el ámbito del Plan Parcial Aranda Central está conformada por la siguiente infraestructura vial jerarquizada:

Red de vías arterias – A3

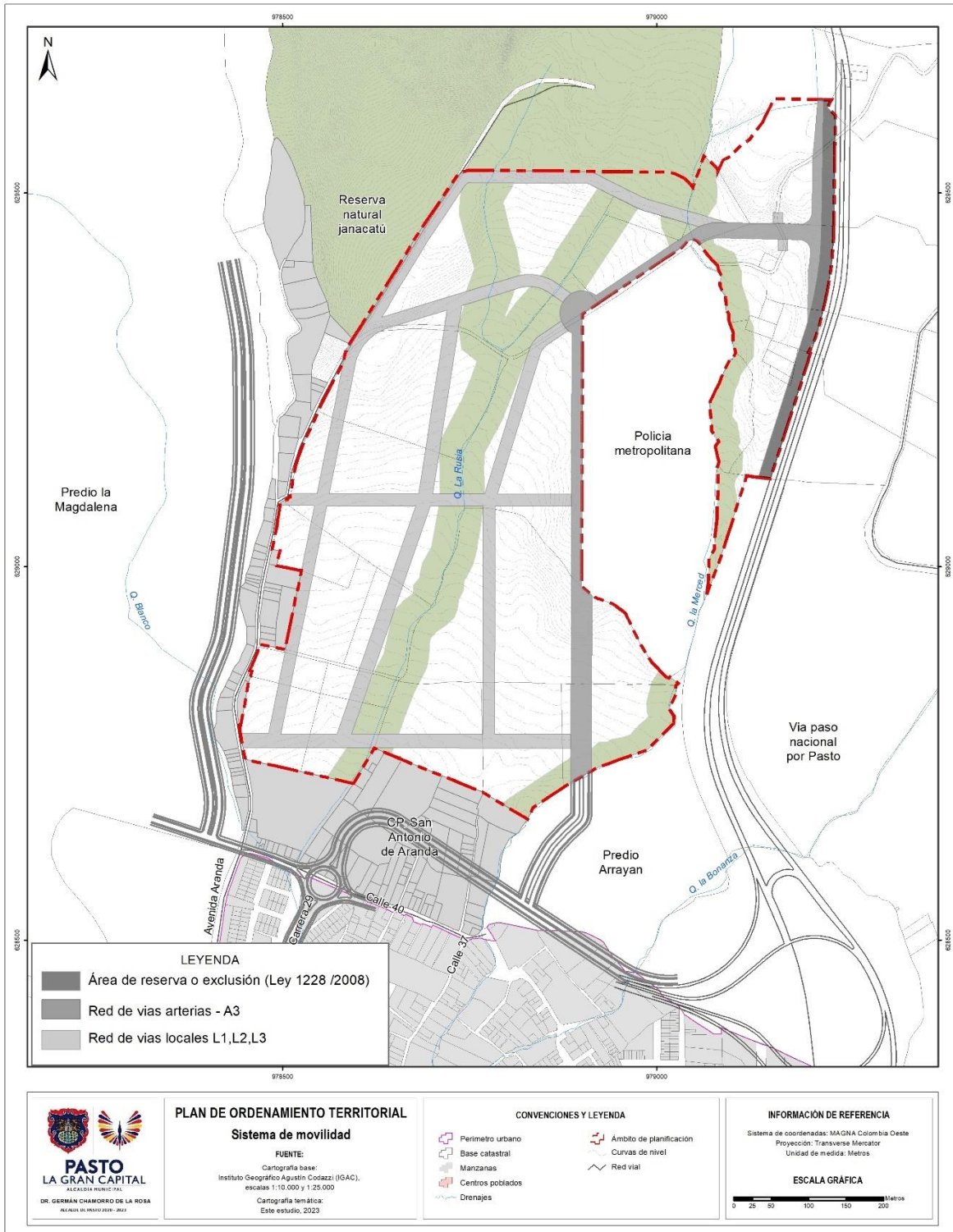
- La Av. Aranda clasificada como una vía arterial intermedia, permite la conexión directa entre la ciudad y el área del Plan Parcial Aranda Central y el Anillo Arterial Central, cuya función establecida por el POT, es estructurar y articular la franja intermedia del área urbana, brindando acceso a las centralidades estratégicas de la ciudad, y entre el Plan Parcial y el Anillo Fundacional cuya función establecida por el POT es brindar acceso al centro extendido, al conectarse directamente con el Paseo de Rumipamba.
- La prolongación de la Avenida Aranda se constituye en una vía Arteria intermedia en expansión – A3, que, si bien no hace parte del ámbito de formulación del Plan Parcial Aranda Central, cumple el papel de vía arteria mayor a la cual se conectarán mediante vías locales L1, L2 y L3.
- La intersección entre la Calle 40 y la Carrera 29 conforma una intersección vial regional en conexión con la vía Paso nacional por Pasto.
- La carrera 29, permite la conexión del área urbana con el ámbito del Plan Parcial Aranda Central y está orientada a canalizar el tráfico urbano de mediana velocidad. Su prolongación hacia el norte, hace parte del ámbito de formulación

del Plan Parcial Aranda Central constituyéndose en la vía Arteria intermedia en expansión – A3 o Carrera 37 que se constituye en el límite con el Plan parcial Policía Metropolitana para posteriormente conectar mediante una intersección, directamente con la vía de primer orden permitiendo el acceso directo al suelo industrial del Plan sin afectar el tráfico de la vía Paso nacional por Pasto.

- La Calle 37, se constituye en una vía Arterial menor - A3 que en su prolongación desde la calle 40 hacia el norte, determina el límite de área del Plan Parcial Policía Metropolitana y el Plan parcial Aranda Central para conectar, directamente con la vía de primer orden Paso nacional por Pasto.

Sistema de movilidad			
Áreas y cesiones del subsistema de infraestructura vial			
Áreas del sistema vial jerarquizado	Red vial nacional	Área de reserva (m2)	8,301.15
	Red vial arterial (cargas generales)	Vía arterias – A3 e incluye carril de desaceleración (m2)	21,770.17
	Red vial local (cargas locales)	Vías locales L1, L2 y L3 (m2)	57,184.39
Áreas de cesión	Área Neta Urbanizable (m2)	Cesión suelo vías locales L1, L2 y L3 (m2)	% de cesión
	279,727.46	57,184.39	20.44

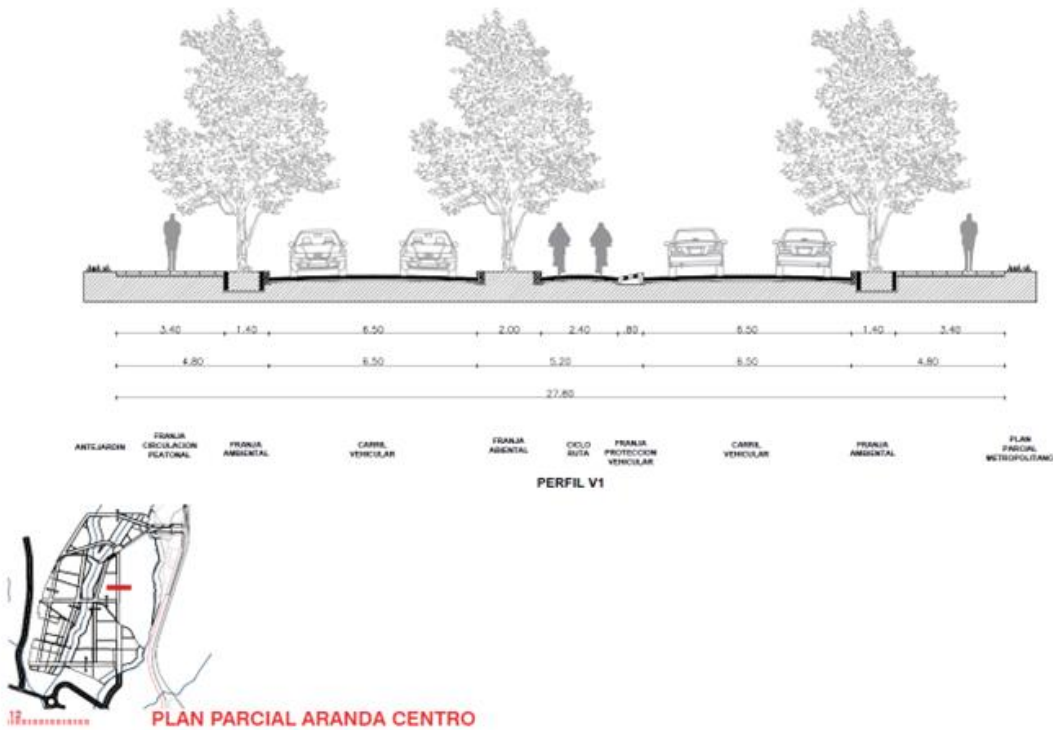
Tabla 106. Áreas y cesiones del subsistema de infraestructura vial
Fuente: SPM 2021 – 2023



Mapa 68. Sistema de movilidad

Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

Perfil V1



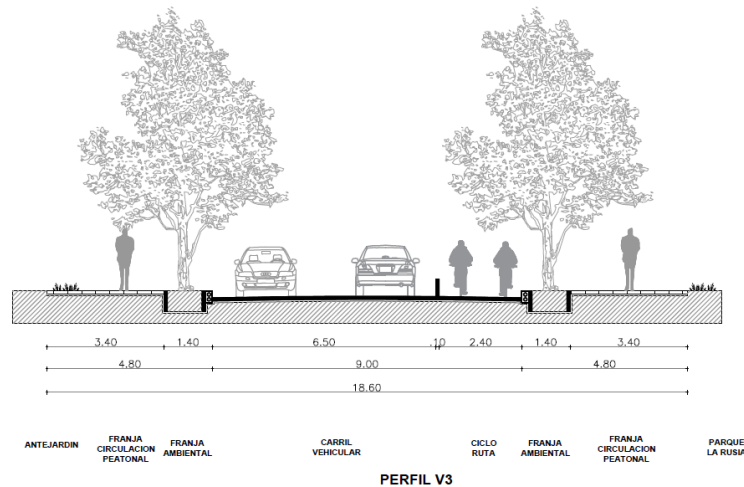
Red de vías Locales – L1, L2 y L3

La accesibilidad y conectividad al interior de la supermanzana se resuelve mediante la proyección de infraestructura vial local tipo L1, L2 y L3 de la siguiente manera:

- Vías locales L1

Vía principal local L1- A: Estructura la movilidad en sentido sur – norte del Plan parcial Aranda Central, con trazado paralelo a la quebrada La Rusia, se constituye en un eje de conexión que involucra en el perfil, antejardín, franja de circulación peatonal, franja ambiental, calzada y ciclo ruta para constituir el principal eje de movilidad y de espacio público con altos estándares paisajísticos.

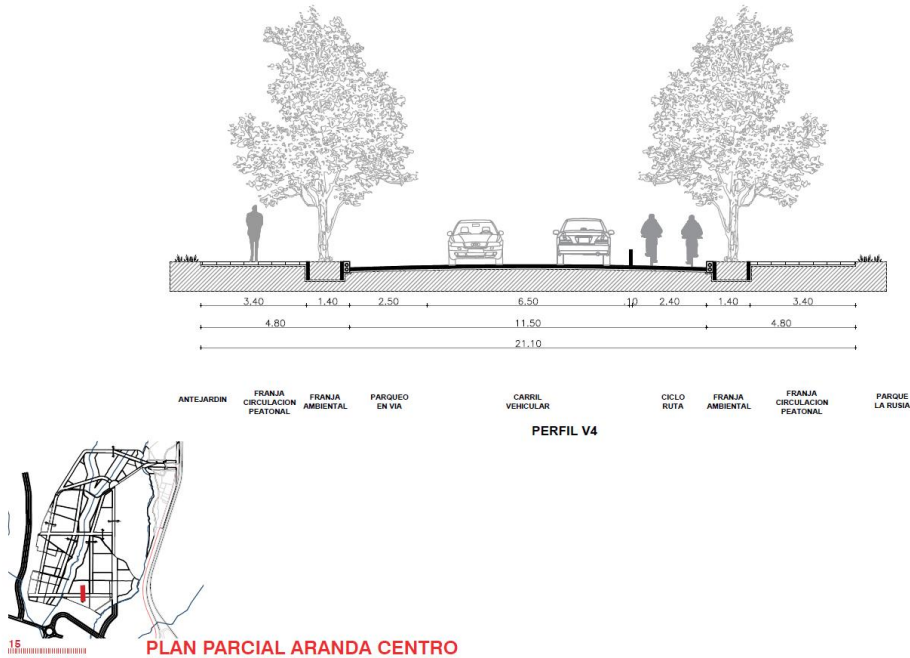
Perfil V3



PLAN PARCIAL ARANDA CENTRO

Vía principal local L1 - B: Eje para la movilidad en sentido occidente - oriente del Plan parcial Aranda Central, conectando el centro poblado San Antonio de Aranda, el área del Plan Parcial Aranda Central y Policía metropolitana y recogiendo el flujo vehicular para integrarlo a través de la Carrera 37 e intercambiador, a la carrera 29 en el sector de Aranda. El perfil involucra, área para antejardín, franja de circulación peatonal, franja ambiental, calzada vehicular y ciclorruta, en conjunto, constituye uno de los ejes principales para la movilidad y el espacio público con altos estándares paisajísticos.

Perfil V4

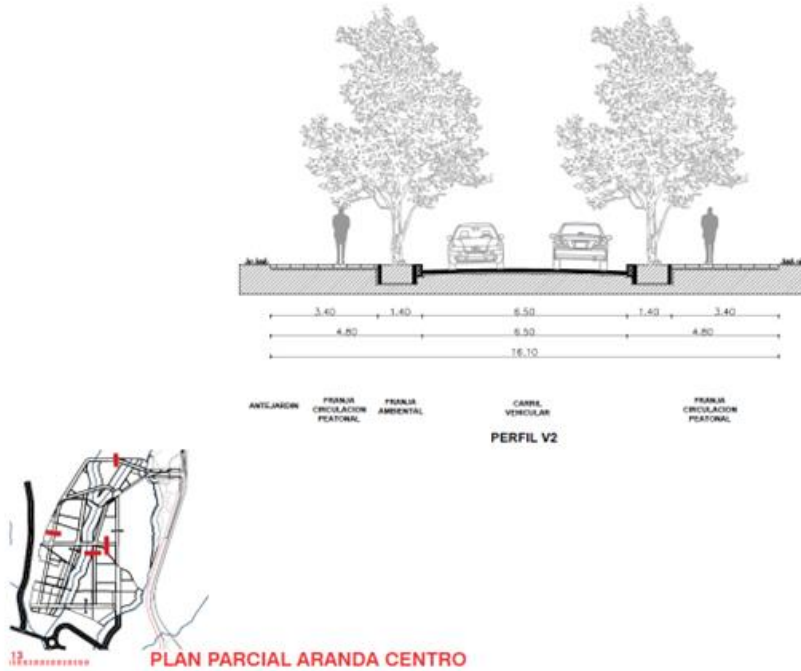


- Vías locales L2

La red de vías locales L2 está conformada por un conjunto de vías estructuradas para dar acceso y conectividad a las manzanas que conforman el Plan parcial Aranda Central.

- Si bien la prolongación actual de la Avenida Aranda a su paso por el centro poblado San Antonio de Aranda, no hace parte del ámbito de formulación del Plan Parcial Aranda Central, se constituye en el principal acceso al Parque Janacatú y puede funcionar como par vial de la vía local paralela a su trazado mejorando el tráfico vial del sector.
- Las vías locales L2, incorporan en el perfil, área para antejardín, franja de circulación peatonal, franja ambiental y calzada vehicular.

Perfil V2



3.1.3.3 Subsistema de transporte público

El Sistema Estratégico de Transporte Público con 23 rutas con cobertura municipal. De dichas rutas del sistema, 4 r que transitan por zonas aledañas que permitirán a futuro ampliar la cobertura del servicio extendiendo su tránsito por la red vial arterial y las principales vías locales. Dichas rutas son:

- Ruta C09
- Ruta C11
- Ruta C15.
- Ruta E07

3.1.4 Sistema de espacio público

El sistema de espacio público como elemento regulador de las condiciones ambientales urbanas, se constituye en un componente estructurante fundamental de la apuesta urbanística y ambiental del Plan Parcial Aranda Central.

El modelo de espacio público propuesto se estructura sobre el criterio de conectividad ecosistémica y articulación funcional de los elementos que conforman el espacio público con la estructura ecológica municipal. De este modo, el espacio público propuesto se proyecta a partir de los elementos ambientales existentes dentro del ámbito del Plan Parcial Aranda Central, que se conciben como elementos estructurantes del proyecto urbanístico para crear un sistema articulado, funcionalmente accesible y adecuado para la totalidad de habitantes del Plan Parcial y su zona de influencia.

En términos generales y a partir de las premisas normativas y las determinantes ambientales y urbanísticas; el espacio público del plan parcial Aranda Central, está conformado por la articulación de las áreas exigidas para cesiones obligatorias, conformadas por las afectaciones de las franjas de protección hídrica de la quebrada La Quebrada La Rusia, las cesiones de espacio público calculados sobre el área neta urbanizable y el Parque Reserva natural Janacatú.

Área Neta Urbanizable (m2)	Cesión obligatoria suelo espacio público 30% (m2)	Escala	Áreas de cesión de suelo para espacio público	Área en m2
279,727.46	83,918.24	Parque zonal	Parque Aranda Central (Globos 1 - 22 - Cesión 30,05%/	84,008.61
		Parque de borde suburbano	Parque Reserva Natural Janacatú	576,572.66
		Total, Espacio público		660,581.26

Tabla 107. Suelo para espacio público - PP Aranda Central
Fuente: SPM 2021 – 2023



Mapa 69. Sistema de espacio público
Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

3.1.4.1 Parque de borde suburbano

El **Parque Reserva Natural Janacatú** forma parte de la estructura ecológica principal y se constituye como espacio público de borde con potencial para controlar el crecimiento urbano y conformarse como área de amortiguamiento entre el territorio urbano y rural. El área de propiedad del municipio de Pasto tiene una superficie total de 576.572,66 metros cuadrados (57,65 has). El Acuerdo 004 de 2015, lo define como un parque de borde suburbano y se define como parte integral de los elementos naturales del nuevo desarrollo urbanístico por el aporte que hace a la satisfacción de las necesidades de recreación tanto de futuros residentes como para los habitantes de Pasto. Por sus valiosas condiciones naturales y paisajísticas se prevé el la conservación y el mantenimiento de los atributos de fauna y flora existentes que le identifican como un Parque Reserva Natural.



Mapa 70. Suelo de protección
Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

3.1.4.2 Parques zonales

En los términos del Plan de Ordenamiento Territorial POT Pasto 2015 – 2027, los parques de escala zonal corresponden a áreas de articulación y encuentro destinadas a suplir las necesidades de recreación, esparcimiento y ocio de los habitantes de una cobertura comunal o de varios barrios de la ciudad. Los parques zonales articulan y dan continuidad a corredores ecológicos urbanos que hacen parte de la estructura ecológica principal y permiten generar espacio público de conectividad entre el sector urbano y el sector rural reconociendo en las quebradas de mayor importancia un importante papel en dicha conectividad rural así como en la protección y recuperación de las calidades hídricas del agua que confluye al río Pasto en los diferentes sectores permitiendo la recreación y fortaleciendo los sistemas de movilidad peatonal y alternativo, igualmente se localizan en radios de influencia de las nuevas centralidades propuestas.

De este modo, el eje – corredor natural de conectividad urbana denominado “**Parque Aranda Central**” conformado por las franjas de protección de la quebrada La Quebrada La Rusia y las cesiones de espacio público adyacentes a él, se conforman en un conjunto de espacios públicos de escala zonal partir del cual: (i) se articula la ciudad consolidada, el área a urbanizar del Plan parcial Aranda Central y el Parque de borde suburbano Janacatú, de forma que se convierta en un espacio público continuo, estructurado y de soporte para la calidad de vida de la población esperada y la ciudad (ii) se localiza el espacio público asociado a parques locales cuya finalidad es generar espacios de esparcimiento para la futura población y dotar de cualidades de habitabilidad urbana y, (iii) se consolida la política de generación y gestión de espacio público y del sistema municipal de parques para el sector oriental de la ciudad, aportando a la disminución del déficit de espacio público.

3.1.4.3 Aporte de suelo para espacio público

El planteamiento urbano establece áreas de cesión para espacio público efectivo con el fin de complementar el sistema de espacio público y aportar a la reducción del déficit que permita la satisfacción de las necesidades de recreación y esparcimiento de la población proyectada y de los habitantes de Pasto en general.

De acuerdo con el planteamiento urbano, se generará un total de 71.930,70 metros cuadrados de espacio público efectivo por cuenta de parques de escala zonal y 576.572,66 m² de espacio público correspondientes a parque de borde suburbano lo que supone una reducción del déficit actual que determina un índice de 4,13 m²Epef/Habitante.

Espacio público efectivo	2021		Con aporte PP Aranda Central	
Espacio público efectivo	613,994.35	M2	1,274,575.61	M2
Población en suelo urbano	305.329	Habitantes	305.329	Habitantes
Espacio público por habitante	2,01	M2/Hab	4,17	M2/Hab

Tabla 108. Aporte a la ampliación del indicador de Epef PP Aranda Central
Fuente: SPM 2021 – 2023

- Parque de borde suburbano

El Parque natural Reserva Natural Janacatú aporta al sistema de espacio público un total de 576,572.66 metros cuadrados de suelo.

- Parques zonales

Es así como se generan áreas de parque, como parte de las cesiones locales obligatorias con un área de 8,40 hectáreas (84,008.61m²) correspondiente al 30,03 % de suelo para nuevo espacio público, calculado para una densidad de vivienda de 160 y 240 viviendas por hectárea del área neta urbanizable.

Dicho suelo se encuentra localizado de manera adyacente al "Parque Aranda Central", sobre áreas en colindancia con, el centro poblado San Antonio de Aranda y las áreas producto de cesiones urbanísticas de otros planes parciales de promoción privada como es el caso de Policía Metropolitana, con el fin de fortalecer la proximidad entre los servicios sociales y los habitantes tanto de áreas ya consolidadas como de los futuros habitantes del área de planificación y de consolidar espacios públicos continuos y accesibles.

Área Neta Urbanizable (m ²)	Cesión obligatoria suelo espacio público (min 30%)	Escala	Áreas de cesión de suelo para espacio público	Área en m ²	% de cesión proyecto
279,727.46	83,918.24	Parque zonal	Parque Aranda Central (Globos 1 - 24 - Cesión 30,005%/	84,008.61	30.03

Tabla 109. Suelo de cesión local para nuevo Epef
Fuente: SIG -SPM 2023

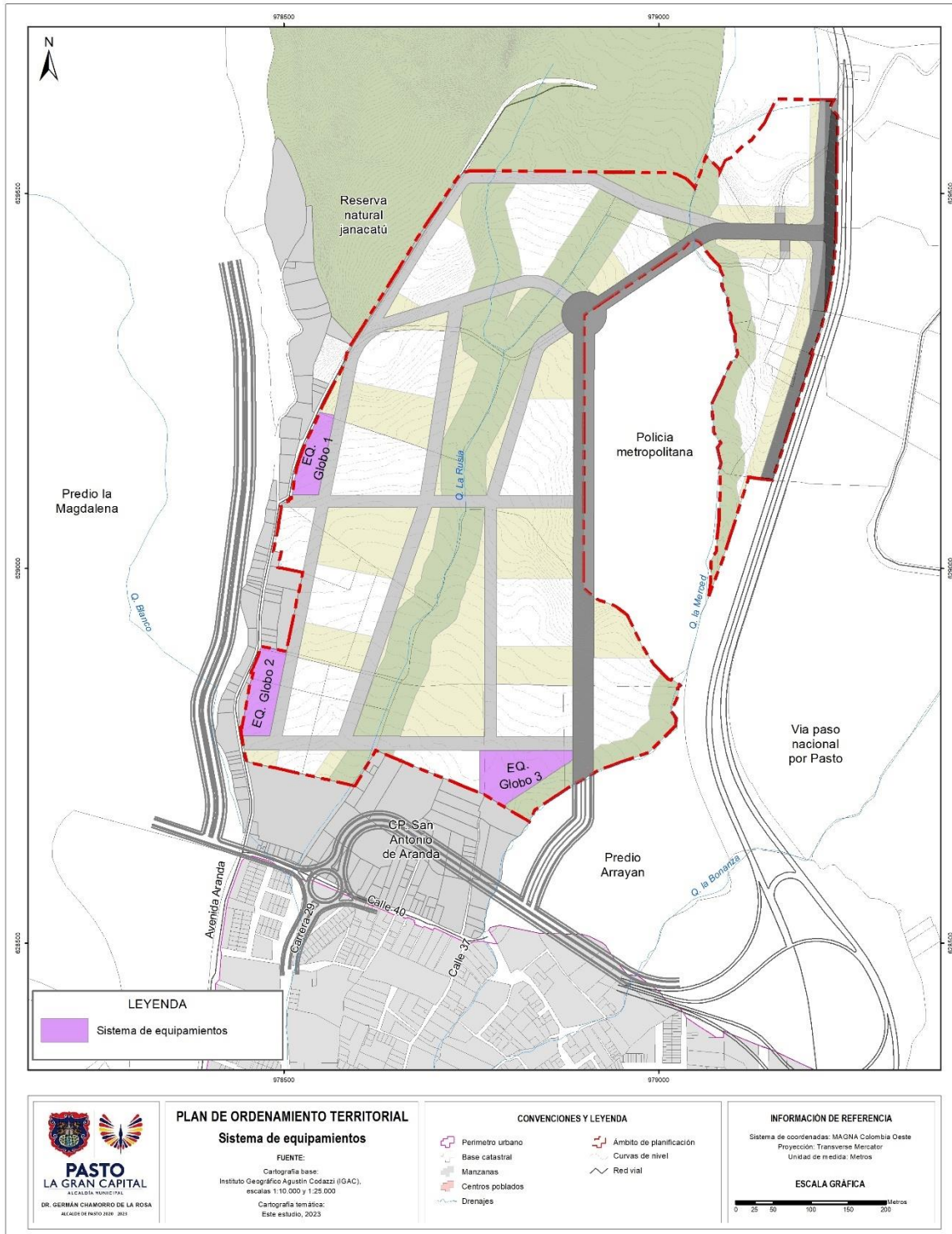
3.1.5 Sistema de equipamientos

El sistema de equipamientos como conjunto de espacios y edificios de carácter público, privado o mixto, tiene el objeto de proveer a los ciudadanos de servicios sociales, colectivos y básicos de forma equilibrada en el ámbito de formulación del Plan parcial Aranda Central.

El planteamiento urbano establece áreas de cesión para equipamientos con el fin de complementar el sistema de equipamientos necesarios para atender las necesidades de los distintos grupos poblacionales, sirviendo además como soporte a la población proyectada dentro del ámbito del Plan Parcial Aranda Central.

Es así como se generan, tres globos de terreno, como parte de las cesiones locales obligatorias con un área de 1,40 hectáreas (14,024.54 m²) correspondiente al 5,01 % de suelo para nuevos equipamientos, calculado sobre el área neta urbanizable.

Dicho suelo se encuentra estratégicamente localizados sobre áreas en colindancia con el centro poblado San Antonio de Aranda con el fin de fortalecer la proximidad entre los servicios sociales y los habitantes tanto de áreas ya consolidadas como de los futuros habitantes del área de planificación. Adicionalmente, se prevé que este suelo para nuevos equipamientos fortalezca el sistema ya que, junto con equipamientos como la Ciudadela Educativa, Policía Metropolitana y Parque Janacatú, se consolida un sistema integrado, multiescalar y complementario de servicios dotacionales que contribuyen a la conformación de la centralidad Aranda.



Mapa 71. Sistema de equipamientos
 Fuente. SIG-SPM con base IGAC 2023

Área Neta Urbanizable (m2)	Cesión suelo equipamientos 5% (m2)	Áreas de cesión de suelo para nuevos equipamientos	Área en m2
279,727.46	13,986.37	Globo 1	3,410.68
		Globo 2	4,601.33
		Globo 3	6,012.53
		Total, cesión Plan Parcial Aranda Central (5,005%)	14,024.54

Tabla 110. Suelo para nuevos equipamientos
Fuente: SIG -SPM 2023

Tanto las nuevas necesidades como las previsiones para equipamientos se han calculados tomando como referencia al total de la población residente esperada que se calcula en 21.010 habitantes teniendo en cuenta una proyección de 5.530 viviendas (aproximadamente) y un promedio de 3.8 habitantes por vivienda, en la totalidad del área neta urbanizable.

Para satisfacer la demanda de servicios sociales por parte de la población que ocupará el ámbito del plan parcial, se proyectan equipamientos básicos para los sectores de educación, salud, bienestar social, cultura y recreación y deporte en la escala local, es decir, a los equipamientos de primera necesidad, con cobertura a nivel de comuna y corregimiento con ámbito de servicio local y corregimental para los sectores urbano y rural.

Para el cálculo de equipamientos se han tomado como base los estándares de calidad en relación con la población esperada, propuestos por la consultoría CIDETER para los estudios del Plan Parcial Aranda 2017, como lo refleja la siguiente tabla:

EQUIPAMIENTO	INDICE		ÁREA REQUERIDA	
Educación (sobre 36% menores de 20 años*: 6.300,60)	2,87	m2/hab	18.082,71	m2
Salud (Sobre total de la población)	0,34	m2/hab	5.950,57	m2
Bienestar Social (Sobre total de la población)	0,47	m2/hab	8.225,78	m2
Cultura (Sobre total de la población)	0,57	m2/hab	9.975,95	m2
Recreativo deportivo (Sobre total de la población)	1,29	m2/hab	22.577,15	m2
Total, m2 Para cubrir las necesidades de la población			64.812,16	m2

Tabla 111. Cálculo de áreas para equipamientos en relación con estándares de calidad
Fuente: CIDETER S.A.S. 2017 – SPM 2021

Las edificaciones destinadas a equipamientos deberán cumplir con lo establecido por el Artículo 185. Del Acuerdo 004 de 2015, Determinantes urbanísticas para los equipamientos que define:

“La implantación de nuevos equipamientos debe cumplir con la norma urbanística de usos de suelo, tratamientos urbanísticos, edificabilidades, normas volumétricas, movilidad, gestión del riesgo y de accesibilidad establecidas en el presente acuerdo, así como a las normas técnicas para cada equipamiento”.

3.1.6 Norma urbanística

3.1.6.1 Tratamientos urbanísticos

3.1.6.2 Densidades habitacionales

El Acuerdo 004 de 2015 establece que la densidad habitacional para el Plan Parcial Aranda Central, es de 118 viviendas/hectárea. Así mismo, de acuerdo con el párrafo tercero del Artículo 255, tiene la posibilidad de incrementar su densidad habitacional hasta un máximo de 350 viviendas por hectárea de área neta urbanizable como parte del aprovechamiento adicional, siempre y cuando los propietarios participen en las cargas generales.

De esta forma, el acceso a las densidades habitacionales solo será posibles mediante la garantía de la dotación de infraestructuras, disponibilidad técnica de prestación del servicio de agua potable y la ejecución del sistema de alcantarillado necesario para dar cobertura a los usuarios, sin afectar el abastecimiento del sector.

3.1.6.3 Edificabilidad y aprovechamientos urbanísticos

3.1.6.4 Destinación VIP

3.1.6.5 Usos de suelo

De acuerdo con lo establecido en el Artículo 299 del Acuerdo 004 de 2015, los usos permitidos para el Plan Parcial Aranda Central corresponden a:

- **Uso Residencial:** Es la destinación del suelo a la vivienda como lugar de habitación permanente.
- **Uso Comercial:** Es la destinación del suelo para el desarrollo de las actividades económicas de intercambio y oferta de bienes, que permiten satisfacer necesidades de la población.
- **Uso de Servicios:** Es la destinación del suelo para el desarrollo de las actividades económicas de provisión y apoyo a procesos logísticos, profesionales y ocasionales para las personas, los vehículos, el transporte, la vivienda y las oficinas.
- **Uso institucional:** Es la destinación del suelo para el desarrollo de las actividades institucionales y de prestación de servicios públicos y sociales, de naturaleza pública y/o privada.
- **Uso industrial:** Es la destinación del suelo para el desarrollo de las actividades económicas de transformación de materias primas en productos terminados

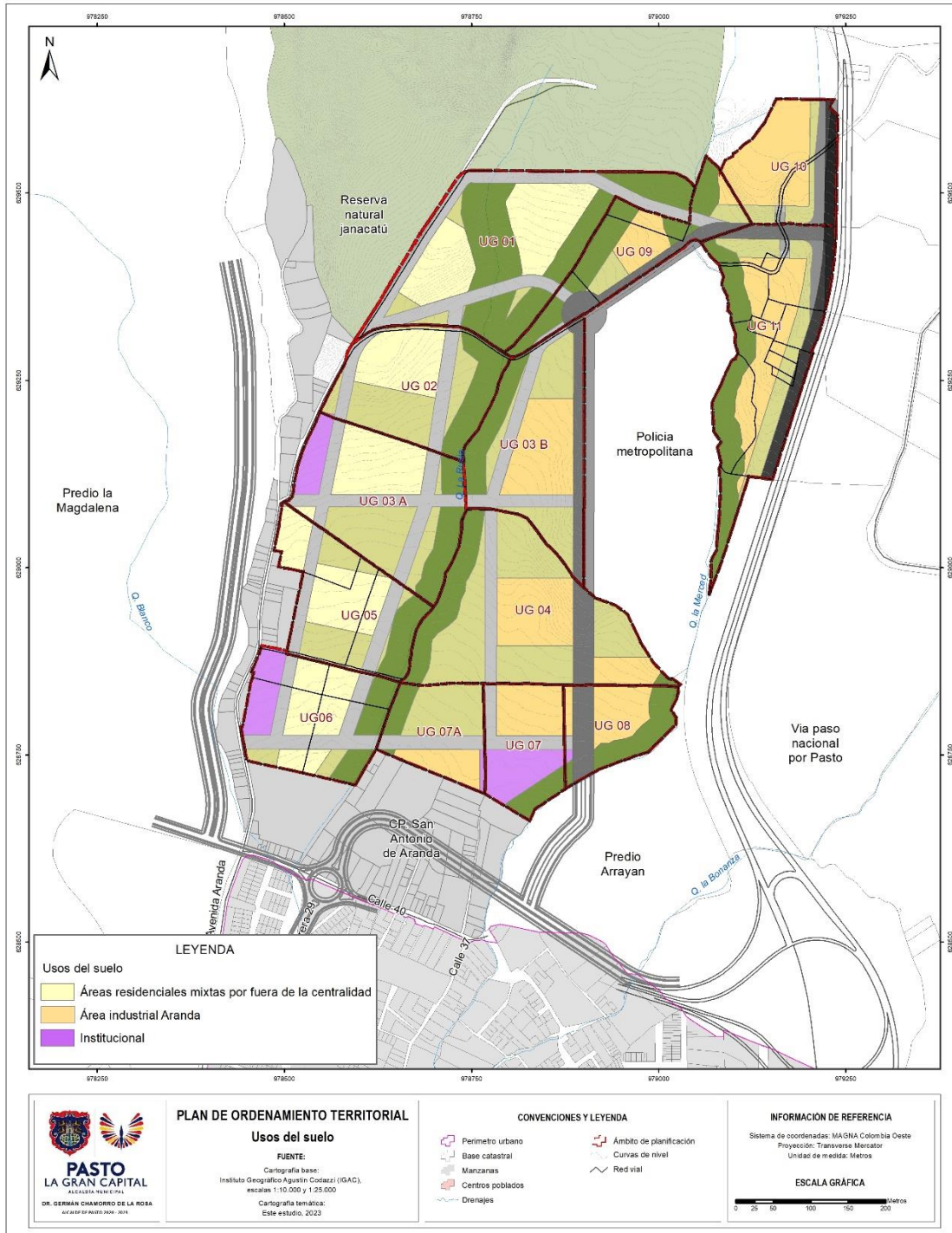
Por otra parte, el Artículo 302. Clasificación de los usos según su interrelación el POT Pasto, determina la compatibilidad y caracterización de las áreas de actividad en que se estructura el territorio; de este modo, los usos según su interrelación con las personas, el ambiente y la estructura territorial se clasifican en:

- **Uso principal:** Uso deseable que coincide con la función específica de la zona y que ofrece las mayores ventajas de eficiencia y desarrollo sostenible.
- **Uso compatible:** Es aquel uso que no se opone al uso principal y concuerda con la potencialidad y productividad que se pretende alcanzar en el territorio.

- **Uso incompatible:** Es el uso que por su impacto negativo no mitigado no puede ser desarrollado ni coexistir con otros usos definidos como principales, compatibles, o mezclados entre sí en las áreas de actividad. Las actividades se clasifican como uso incompatible del suelo cuando no es posible la mitigación de los impactos establecidos en el presente acuerdo, o no es aprobado el plan de regularización de usos de suelo.
- **Uso prohibido:** Es el uso que no se clasifica como principal o compatible en las áreas de actividad establecidas.

Los usos permitidos responden al modelo de ordenamiento propuesto por el Plan de Ordenamiento Territorial conforme la compatibilidad y caracterización de las áreas de actividad establecidas en el mismo. Lo anterior mediante el fortalecimiento y la promoción de las funciones territoriales señaladas en los lineamientos para la formulación de los planes parciales de expansión con la creación de condiciones en las cuales se fomente la generación de vivienda y la prestación de bienes y servicios y ofertas urbanas que permitan la conformación de la Centralidad municipal Zona de Expansión Aranda.

Los usos permitidos por manzana y Unidad de gestión para el Plan Parcial se presentan en el siguiente mapa y tabla:



Mapa 72. Mapa de usos permitidos por Unidad de Gestión
Fuente: SPM 2023

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
Residencial	P	P
1011 Procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos	Pr	C
1012 Procesamiento y conservación de pescados, crustáceos y moluscos	Pr	Pr
1020 Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos	Pr	Pr
1030 Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal	Pr	P
1040 Elaboración de productos lácteos	Pr	Pr
1051 Elaboración de productos de molinería	Pr	P
1052 Elaboración de almidones y productos derivados del almidón	Pr	P
1061 Trilla de café	Pr	Pr
1062 Descafeinado, tostión y molienda del café	Pr	P
1063 Otros derivados del café	Pr	P
1071 Elaboración y refinación de azúcar	Pr	Pr
1072 Elaboración de panela	Pr	Pr
1081 Elaboración de productos de panadería	C	P
1082 Elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería	C	P
1083 Elaboración de macarrones, fideos, alcuizcuz y productos farináceos similares	C	P
1084 Elaboración de comidas y platos preparados	C	C
1089 Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p	C	P
1101 Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas	Pr	Pr
1102 Elaboración de bebidas fermentadas no destiladas	Pr	P
1103 Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas	Pr	P

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD	AREA INDUSTRIAL ARANDA
	UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
1104 Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas.	Pr	P
1311 Preparación e hilatura de fibras textiles.	C	C
1312 Tejeduría de productos textiles.	C	C
1313 Acabado de productos textiles.	C	C
1391 Fabricación de tejidos de punto y ganchillo.	C	C
1392 Confección de artículos con materiales textiles, excepto prendas de vestir.	C	C
1393 Fabricación de tapetes y alfombras para pisos.	C	C
1394 Fabricación de cuerdas, cordeles, cables, bramantes y redes.	C	C
1399 Fabricación de otros artículos textiles n.c.p.	C	C
1410 Confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel.	C	C
1420 Fabricación de artículos de piel.	C	P
1430 Fabricación de artículos de punto y ganchillo.	C	C
1511 Curtido y recurtido de cueros; recurtido y teñido de pieles	Pr	Pr
1512 Fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares elaborados en cuero, y fabricación de artículos de talabartería y guarnicionería.	C	P
1513 Fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares; artículos de talabartería y guarnicionería elaborados en otros materiales.	C	P
1521 Fabricación de calzado de cuero y piel, con cualquier tipo de suela	C	P
1522 Fabricación de otros tipos de calzado, excepto calzado de cuero y piel	C	P
1523 Fabricación de partes del calzado	C	P
1610 Aserrado, acepillado e impregnación de la madera.	Pr	P
1620 Fabricación de hojas de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tableros laminados, tableros de particulas y otros tableros y paneles.	Pr	P

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD	AREA INDUSTRIAL ARANDA
	UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
1630 Fabricación de partes y piezas de madera, de carpintería y ebanistería para la construcción.	C	P
1640 Fabricación de recipientes de madera.	C	P
1690 Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, cestería y espartería.	C	P
1701 Fabricación de pulpas (pastas) celulósicas; papel y cartón.	Pr	P
1702 Fabricación de papel y cartón ondulado (corrugado); fabricación de envases, empaques y de embalajes de papel y cartón.	Pr	P
1709 Fabricación de otros artículos de papel y cartón.	Pr	P
1811 Actividades de impresión.	C	C
1812 Actividades de servicios relacionados con la impresión.	C	C
1820 Producción de copias a partir de grabaciones originales.	C	Pr
2011 Fabricación de sustancias y productos químicos básicos	Pr	Pr
2012 Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados	Pr	Pr
2013 Fabricación de plásticos en formas primarias	Pr	P
2014 Fabricación de caucho sintético en formas primarias	Pr	P
2021 Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario	Pr	C
2022 Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares, tintas para impresión y masillas	Pr	C
2023 Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir; perfumes y preparados	Pr	C
2029 Fabricación de otros productos químicos n.c.p.	Pr	C
2030 Fabricación de fibras sintéticas y artificiales	Pr	C
2100 Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico	Pr	P
2211 Fabricación de llantas y neumáticos de caucho	Pr	P
2212 Reencauche de llantas usadas	Pr	P

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
	2219 Fabricación de formas básicas de caucho y otros productos de caucho n.c.p.	Pr
2221 Fabricación de formas básicas de plástico	Pr	P
2229 Fabricación de artículos de plástico n.c.p.	Pr	P
2310 Fabricación de vidrio y productos de vidrio	Pr	C
2391 Fabricación de productos refractarios	Pr	C
2392 Fabricación de materiales de arcilla para la construcción	Pr	Pr
2393 Fabricación de otros productos de cerámica y porcelana	Pr	Pr
2394 Fabricación de cemento, cal y yeso	Pr	C
2395 Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso	Pr	C
2396 Corte, tallado y acabado de la piedra	Pr	C
2399 Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p	Pr	C
2410 Industrias básicas de hierro y de acero	Pr	Pr
2421 Industrias básicas de metales preciosos	Pr	Pr
2429 Industrias básicas de otros metales no ferrosos	Pr	Pr
2431 Fundición de hierro y de acero	Pr	
2432 Fundición de metales no ferrosos	Pr	Pr
2511 Fabricación de productos metálicos para uso estructural	Pr	P
2512 Fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal, excepto los utilizados para el envase o transporte de mercancías	Pr	P
2513 Fabricación de generadores de vapor, excepto calderas de agua caliente para calefacción central	Pr	P
2520 Fabricación de armas y municiones	Pr	Pr
2591 Forja, prensado, estampado y laminado de metal; pulvimetalurgia	Pr	P
2592 Tratamiento y revestimiento de metales; mecanizado	Pr	P

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD	AREA INDUSTRIAL ARANDA
	UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
2593 Fabricación de artículos de cuchillería, herramientas de mano y artículos de ferretería	Pr	P
2599 Fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p.	Pr	P
2610 Fabricación de componentes y tableros electrónicos	Pr	C
2620 Fabricación de computadoras y de equipo periférico	Pr	C
2630 Fabricación de equipos de comunicación	Pr	C
2640 Fabricación de aparatos electrónicos de consumo	Pr	C
2651 Fabricación de equipo de medición, prueba, navegación y control	Pr	C
2652 Fabricación de relojes	Pr	C
2660 Fabricación de equipo de irradiación y equipo electrónico de uso médico y terapéutico	Pr	C
2670 Fabricación de instrumentos ópticos y equipo fotográfico	Pr	C
2680 Fabricación de medios magnéticos y ópticos para almacenamiento de datos	Pr	C
2711 Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos	Pr	C
2712 Fabricación de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica	Pr	C
2720 Fabricación de pilas, baterías y acumuladores eléctricos	Pr	C
2731 Fabricación de hilos y cables eléctricos y de fibra óptica	Pr	C
2732 Fabricación de dispositivos de cableado	Pr	C
2740 Fabricación de equipos eléctricos de iluminación	Pr	C
2750 Fabricación de aparatos de uso doméstico	Pr	C
2790 Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico n.c.p.	Pr	C
2811 Fabricación de motores, turbinas, y partes para motores de combustión interna	Pr	C
2812 Fabricación de equipos de potencia hidráulica y neumática	Pr	C
2813 Fabricación de otras bombas, compresores, grifos y válvulas	Pr	C

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD	AREA INDUSTRIAL ARANDA
	UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
2814 Fabricación de cojinetes, engranajes, trenes de engranajes y piezas de transmisión	Pr	C
2815 Fabricación de hornos, hogares y quemadores industriales	Pr	C
2816 Fabricación de equipo de elevación y manipulación	Pr	C
2817 Fabricación de maquinaria y equipo de oficina (excepto computadoras y equipo periférico)	Pr	C
2818 Fabricación de herramientas manuales con motor	Pr	C
2819 Fabricación de otros tipos de maquinaria y equipo de uso general n.c.p.	Pr	C
2821 Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal	Pr	C
2822 Fabricación de máquinas formadoras de metal y de máquinas herramienta	Pr	C
2823 Fabricación de maquinaria para la metalurgia	Pr	C
2824 Fabricación de maquinaria para explotación de minas y canteras y para obras de construcción	Pr	C
2825 Fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco	Pr	C
2826 Fabricación de maquinaria para la elaboración de productos textiles, prendas de vestir y cueros	Pr	C
2829 Fabricación de otros tipos de maquinaria y equipo de uso especial n.c.p.	Pr	C
2910 Fabricación de vehículos automotores y sus motores	Pr	C
2920 Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques	Pr	C
2930 Fabricación de partes, piezas (autopartes) y accesorios (lujos) para vehículos automotores	Pr	C
3110 Fabricación de muebles	Pr	P
3120 Fabricación de colchones y somieres	Pr	P
3210 Fabricación de joyas, bisutería y artículos conexos	Pr	C
3220 Fabricación de instrumentos musicales	Pr	C
3230 Fabricación de artículos y equipo para la práctica del deporte	Pr	C

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
3240 Fabricación de juegos, juguetes y rompecabezas	Pr	C
3250 Fabricación de instrumentos, aparatos y materiales médicos y odontológicos (incluido mobiliario)	Pr	C
3290 Otras industrias manufactureras n.c.p.	Pr	C
3311 Mantenimiento y reparación especializado de productos elaborados en metal	Pr	P
3312 Mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo	Pr	P
3313 Mantenimiento y reparación especializado de equipo electrónico y óptico	Pr	P
3314 Mantenimiento y reparación especializado de equipo eléctrico	Pr	P
3315 Mantenimiento y reparación especializado de equipo de transporte, excepto los vehículos automotores, motocicletas y bicicletas	Pr	P
3319 Mantenimiento y reparación de otros tipos de equipos y sus componentes n.c.p.	Pr	C
3320 Instalación especializada de maquinaria y equipo industrial	Pr	p
3511 Generación de energía eléctrica	Pr	C
3512 Transmisión de energía eléctrica	Pr	Pr
3530 Suministro de vapor y aire acondicionado	Pr	C
3600 Captación, tratamiento y distribución de agua	Pr	C
3700 Evacuación y tratamiento de aguas residuales	Pr	C
3811 Recolección de desechos no peligrosos	Pr	C
3812 Recolección de desechos peligrosos	Pr	Pr
3821 Tratamiento y disposición de desechos no peligrosos	Pr	Pr
3822 Tratamiento y disposición de desechos peligrosos	Pr	Pr
3830 Recuperación de materiales	Pr	Pr
4511 Comercio de vehículos automotores nuevos.	Pr	C

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
4512 Comercio de vehículos automotores usados.	Pr	C
4520 Mantenimiento y reparación de vehículos automotores.	Pr	C
4530 Comercio de partes, piezas (autopartes) y accesorios (lujos) para vehículos automotores.	Pr	C
4541 Comercio de motocicletas y de sus partes, piezas y accesorios	Pr	C
4542 Mantenimiento y reparación de motocicletas y de sus partes y piezas.	Pr	C
4620 Comercio al por mayor de materias primas agropecuarias; animales vivos	Pr	C
4631 Comercio al por mayor de productos alimenticios	Pr	C
4632 Comercio al por mayor de bebidas y tabaco	Pr	C
4641 Comercio al por mayor de productos textiles, productos confeccionados para uso doméstico	Pr	C
4642 Comercio al por mayor de prendas de vestir	Pr	C
4643 Comercio al por mayor de calzado	Pr	C
4644 Comercio al por mayor de aparatos y equipo de uso doméstico	Pr	C
4645 Comercio al por mayor de productos farmacéuticos, medicinales, cosméticos y de tocador	Pr	C
4649 Comercio al por mayor de otros utensilios domésticos n.c.p.	Pr	C
4651 Comercio al por mayor de computadores, equipo periférico y programas de informática	Pr	C
4652 Comercio al por mayor de equipo, partes y piezas electrónicos y de telecomunicaciones	Pr	C
4653 Comercio al por mayor de maquinaria y equipo agropecuarios	Pr	C
4659 Comercio al por mayor de otros tipos de maquinaria y equipo n.c.p.	Pr	C
4661 Comercio al por mayor de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y productos conexos	Pr	C
4662 Comercio al por mayor de metales y productos metalíferos	Pr	C

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD	AREA INDUSTRIAL ARANDA
	UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
4663 Comercio al por mayor de materiales de construcción, artículos de ferretería, pinturas, productos de vidrio, equipo y materiales de fontanería y calefacción	Pr	C
4664 Comercio al por mayor de productos químicos básicos, cauchos y plásticos en formas primaria y productos químicos de uso agropecuario	Pr	C
4665 Comercio al por mayor de desperdicios, desechos y chatarra	Pr	C
4669 Comercio al por mayor de otros productos n.c.p.	Pr	C
4690 Comercio al por mayor no especializado	Pr	C
4719 Comercio al por menor en establecimientos no especializados, con surtido compuesto principalmente por productos diferentes de alimentos (víveres en general), bebidas y tabaco.	C	C
4721 Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados.	Pr	Pr
4722 Comercio al por menor de leche, productos lácteos y huevos, en establecimientos especializados.	C	C
4723 Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral), productos cármicos, pescados y productos de mar, en establecimientos especializados.	C	C
4724 Comercio al por mayor de bebidas y productos del tabaco, en establecimientos especializados.	C	C
4729 Comercio al por menor de otros productos alimenticios n.c.p., en establecimientos especializados	C	C
4731 Comercio al por menor de combustible para automotores.	Pr	C
4732 Comercio al por mayor de lubricantes (aceites, grasas), aditivos y productos de limpieza para vehículos automotores.	Pr	C
4741 Comercio al por menor de computadores, equipos periféricos, programas de informática y equipos de telecomunicaciones en establecimientos especializados.	C	Pr
4742 Comercio al por menor de equipos y aparatos de sonido y de video, en establecimientos especializados.	C	Pr
4751 Comercio al por menor de productos textiles en establecimientos especializados.	C	Pr
4752 Comercio al por menor de artículos de ferretería, pinturas y productos de vidrio en establecimientos especializados.	Pr	C

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
	4753 Comercio al por menor de tapices, alfombras y cubrimientos para paredes y pisos en establecimientos especializados.	Pr
4754 Comercio al por menor de electrodomésticos y gasodomésticos de uso doméstico, muebles y equipos de iluminación.	Pr	Pr
4755 Comercio al por menor de artículos y utensilios de uso doméstico.	Pr	Pr
4759 Comercio al por menor de otros artículos domésticos en establecimientos especializados.	Pr	Pr
4761 Comercio al por menor de libros, periódicos, materiales y artículos de papelería y escritorio, en establecimientos especializados.	C	Pr
4762 Comercio al por menor de artículos deportivos, en establecimientos especializados.	Pr	Pr
4769 Comercio al por menor de otros artículos culturales y de entretenimiento n.c.p. en establecimientos especializados.	C	Pr
4771 Comercio al por menor de prendas de vestir y sus accesorios (incluye artículos de piel) en establecimientos especializados.	Pr	Pr
4772 Comercio al por menor de todo tipo de calzado y artículos de cuero y sucedáneos del cuero en establecimientos especializados.	Pr	Pr
4773 Comercio al por menor de productos farmacéuticos y medicinales, cosméticos y artículos de tocador en establecimientos especializados.	Pr	Pr
4774 Comercio al por menor de otros productos nuevos en establecimientos especializados.	Pr	Pr
4775 Comercio al por menor de artículos de segunda mano.	Pr	Pr
5210 Almacenamiento y depósito	Pr	P
5229 Otras actividades complementarias al transporte	Pr	P
5310 Actividades postales nacionales	C	C
5320 Actividades de mensajería	C	C
5511 Alojamiento en hoteles.	Pr	C
5512 Alojamiento en apartahoteles.	Pr	C
5519 Otros tipos de alojamientos para visitantes	C	C

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
5530 Servicio por horas	Pr	Pr
5590 Otros tipos de alojamiento n.c.p.residencias estudiantiles dormitorios escolares campamentos de trabajadores	C	Pr
5611 Expendio a la mesa de comidas preparadas.	C	C
5612 Expendio por autoservicio de comidas preparadas.	C	C
5613 Expendio de comidas preparadas en cafeterías.	C	C
5619 Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p. casetas, quioscos fritangerías, heladerías cofee shop. Helados y bebidas naturales	solo heladerías compatible	C
5621 Catering para eventos	C	C
5629 Actividades de otros servicios de comidas	C	C
5630 Expendio de bebidas alcohólicas para el consumo dentro del establecimiento.	Pr	C
5811 Edición de libros	C	C
5812 Edición de directorios y listas de correo	C	C
5813 Edición de periódicos, revistas y otras publicaciones periódicas	C	C
5819 Otros trabajos de edición	C	C
5820 Edición de programas de informática (<i>software</i>)	C	C
5911 Actividades de producción de películas cinematográficas, videos, programas, anuncios y comerciales de televisión	Pr	C
5912 Actividades de posproducción de películas cinematográficas, videos, programas, anuncios y comerciales de televisión	Pr	C
5913 Actividades de distribución de películas cinematográficas, videos, programas, anuncios y comerciales de televisión	Pr	C
5914 Actividades de exhibición de películas cinematográficas y videos	Pr	C
5920 Actividades de grabación de sonido y edición de música	Pr	C
6010 Actividades de programación y transmisión en el servicio de radiodifusión sonora.	Pr	C

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
6020 Actividades de programación y transmisión de televisión.	Pr	C
6110 Actividades de telecomunicaciones alámbricas	Pr	C
6120 Actividades de telecomunicaciones inalámbricas	Pr	C
6130 Actividades de telecomunicación satelital	Pr	C
6190 Otras actividades de telecomunicaciones	Pr	C
6201 Actividades de desarrollo de sistemas informáticos (planificación, análisis, diseño, programación, pruebas)	Pr	C
6202 Actividades de consultoría informática y actividades de administración de instalaciones informáticas	Pr	C
6209 Otras actividades de tecnologías de información y actividades de servicios informáticos	Pr	C
6311 Procesamiento de datos, alojamiento (hosting) y actividades relacionadas.	Pr	N.A.
6312 Portales web	Pr	N.A.
6391 Actividades de agencias de noticias.	Pr	N.A.
6399 Otras actividades de servicio de información n.c.p.	Pr	N.A.
6411 Banco Central.	Pr	C
6412 Bancos comerciales.	Pr	C
6421 Actividades de las corporaciones financieras.	Pr	Pr
6422 Actividades de las compañías de financiamiento.	Pr	Pr
6423 Banca de segundo piso	Pr	Pr
6424 Actividades de las cooperativas financieras.	Pr	Pr
6431 Fideicomisos, fondos y entidades financieras similares.	Pr	Pr
6432 Fondos de cesantías.	Pr	Pr
6491 Leasing financiero (arrendamiento financiero).	Pr	N.A.

AREA DE ACTIVIDAD URBANA		
CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD	AREA INDUSTRIAL ARANDA
	UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
6492 Actividades financieras de fondos de empleados y otras formas asociativas del sector solidario.	Pr	N.A.
6493 Actividades de compra de cartera o factoring.	Pr	N.A.
6494 Otras actividades de distribución de fondos.	Pr	N.A.
6495 Instituciones especiales oficiales.	Pr	N.A.
6499 Otras actividades de servicio financiero, excepto las de seguros y pensiones n.c.p.	Pr	N.A.
6511 Seguros generales.	Pr	Pr
6512 Seguros de vida.	Pr	Pr
6513 Reaseguros.	Pr	Pr
6514 Capitalización.	Pr	Pr
6521 Servicios de seguros sociales de salud.	Pr	Pr
6522 Servicios de seguros sociales de riesgos profesionales.	Pr	Pr
6611 Administración de mercados financieros	Pr	N.A.
6612 Corretaje de valores y de contratos de productos básicos	Pr	N.A.
6613 Otras actividades relacionadas con el mercado de valores	Pr	N.A.
6614 Actividades de las casas de cambio	Pr	Pr
6615 Actividades de los profesionales de compra y venta de divisas	Pr	Pr
6619 Otras actividades auxiliares de las actividades de servicios financieros n.c.p.	Pr	Pr
6621 Actividades de agentes y corredores de seguros	Pr	Pr
6629 Evaluación de riesgos y daños, y otras actividades de servicios auxiliares	Pr	Pr
6630 Actividades de administración de fondos	Pr	Pr
6810 Actividades inmobiliarias realizadas con bienes propios o arrendados.	Pr	Pr
6820 Actividades inmobiliarias realizadas a cambio de una retribución o por contrata	Pr	Pr

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
6910 Actividades jurídicas.	Pr	Pr
6920 Actividades de contabilidad, teneduría de libros, auditoría financiera y asesoría tributaria.	Pr	Pr
7010 Actividades de administración empresarial.	Pr	Pr
7020 Actividades de consultoría de gestión.	Pr	Pr
7110 Actividades de arquitectura e ingeniería y otras actividades conexas de consultoría técnica.	C	Pr
7120 Ensayos y análisis técnicos.	C	Pr
7210 Investigaciones y desarrollo experimental en el campo de las ciencias naturales y la ingeniería.	C	Pr
7220 Investigaciones y desarrollo experimental en el campo de las ciencias sociales y las humanidades.	C	Pr
7310 Publicidad.	C	Pr
7320 Estudios de mercado y realización de encuestas de opinión pública.	C	Pr
7410 Actividades especializadas de diseño.	C	Pr
7420 Actividades de fotografía.	C	Pr
7490 Otras actividades profesionales, científicas y técnicas n.c.p.	C	Pr
7500 Actividades veterinarias.	Pr	C
7710 Alquiler y arrendamiento de vehículos automotores.	Pr	Pr
7721 Alquiler y arrendamiento de equipo recreativo y deportivo.	Pr	Pr
7722 Alquiler de videos y discos.	Pr	Pr
7729 Alquiler y arrendamiento de otros efectos personales y enseres domésticos n.c.p.	Pr	Pr
7730 Alquiler y arrendamiento de otros tipos de maquinaria, equipo y bienes tangibles n.c.p.	Pr	P
7810 Actividades de agencias de empleo	Pr	Pr
7820 Actividades de agencias de empleo temporal	Pr	Pr
7830 Otras actividades de suministro de recurso humano	Pr	Pr

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
7911 Actividades de las agencias de viaje.	Pr	Pr
7912 Actividades de operadores turísticos.	Pr	Pr
7990 Otros servicios de reserva y actividades relacionadas	Pr	Pr
8010 Actividades de seguridad privada.	Pr	Pr
8020 Actividades de servicios de sistemas de seguridad.	Pr	Pr
8030 Actividades de detectives e investigadores privados	Pr	Pr
8121 Limpieza general interior de edificios	Pr	Pr
8129 Otras actividades de limpieza de edificios e instalaciones industriales	Pr	Pr
8130 Actividades de paisajismo y servicios de mantenimiento conexos.	Pr	C
8211 Actividades combinadas de servicios administrativos de oficina.	C	Pr
8219 Fotocopiado, preparación de documentos y otras actividades especializadas de apoyo a oficina.	C	Pr
8220 Actividades de centros de llamadas (Call center).	C	Pr
8230 Organización de convenciones y eventos comerciales	C	Pr
8291 Actividades de agencias de cobranza y oficinas de calificación crediticia	C	Pr
8292 Actividades de envase y empaque	Pr	P
8411 Actividades legislativas de la administración pública.	Pr	Pr
8412 Actividades ejecutivas de la administración pública.	Pr	Pr
8413 Regulación de las actividades de organismos que prestan servicios de salud, educativos, culturales y otros servicios sociales, excepto servicios de seguridad social.	Pr	Pr
8414 Actividades reguladoras y facilitadoras de la actividad económica.	Pr	Pr
8415 Actividades de los otros órganos de control.	Pr	Pr
8421 Relaciones exteriores	Pr	Pr

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
8422 Actividades de defensa.	Pr	Pr
8423 Orden público y actividades de seguridad.	Pr	Pr
8424 Administración de justicia.	Pr	Pr
8430 Actividades de planes de seguridad social de afiliación obligatoria.	Pr	Pr
8511 Educación de la primera infancia.	Pr	Pr
8512 Educación preescolar.	Pr	Pr
8513 Educación básica primaria.	Pr	Pr
8521 Educación básica secundaria.	Pr	Pr
8522 Educación media académica.	Pr	Pr
8523 Educación media técnica y de formación laboral.	Pr	Pr
8530 Establecimientos que combinan diferentes niveles de educación.	Pr	Pr
8541 Educación técnica profesional.	Pr	Pr
8542 Educación tecnológica.	Pr	Pr
8543 Educación de instituciones universitarias o de escuelas tecnológicas.	Pr	Pr
8544 Educación de universidades.	Pr	Pr
8551 Formación académica no formal.	Pr	Pr
8552 Enseñanza deportiva y recreativa.	Pr	Pr
8553 Enseñanza cultural.	Pr	Pr
8559 Otros tipos de educación n.c.p.	Pr	Pr
8560 Actividades de apoyo a la educación.	Pr	Pr
8610 Actividades de hospitales y clínicas, con internación.	Pr	Pr
8621 Actividades de la práctica médica, sin internación.	C	Pr
8622 Actividades de la práctica odontológica.	C	Pr

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
8691 Actividades de apoyo diagnóstico.	C	Pr
8692 Actividades de apoyo terapéutico.	C	Pr
8699 Otras actividades de atención de la salud humana.	C	Pr
8730 Actividades de atención en instituciones para el cuidado de personas mayores y/o discapacitadas	Pr	Pr
8790 Otras actividades de atención en instituciones con alojamiento	Pr	Pr
8810 Actividades de asistencia social sin alojamiento para personas mayores y discapacitadas.	Pr	Pr
8890 Otras actividades de asistencia social sin alojamiento.	Pr	Pr
9001 Creación literaria.	C	Pr
9002 Creación musical.	C	Pr
9003 Creación teatral.	C	Pr
9004 Creación audiovisual.	C	Pr
9005 Artes plásticas y visuales.	C	Pr
9006 Actividades teatrales.	C	Pr
9007 Actividades de espectáculos musicales en vivo.	C	Pr
9008 Otras actividades de espectáculos en vivo.	C	Pr
9101 Actividades de bibliotecas y archivos.	Pr	Pr
9102 Actividades y funcionamiento de museos, conservación de edificios y sitios históricos.	Pr	Pr
9200 Actividades de juegos de azar y apuestas.	Pr	Pr
9311 Gestión de instalaciones deportivas-gimnasios	Pr	Pr
9312 Actividades de clubes deportivos.	Pr	Pr
9319 Otras actividades deportivas.	Pr	Pr
9321 Actividades de parques de atracciones y parques temáticos.	Pr	Pr

CATEGORIAS DE ACTIVIDADES ESTABLECIMIENTOS Y EMPRESAS	AREA DE ACTIVIDAD URBANA	
	AREAS RESIDENCIALES MIXTAS POR FUERA DE LA CENTRALIDAD UNIDADES DE GESTIÓN UG1-UG2-UG3A-UG5-UG6	AREA INDUSTRIAL ARANDA UNIDADES DE GESTIÓN UG3B-UG4-UG7-UG7A-UG8-UG9-UG10-UG11
9329 Otras actividades recreativas y de esparcimiento n.c.p.	Pr	Pr
9411 Actividades de asociaciones empresariales y de empleadores	Pr	Pr
9412 Actividades de asociaciones profesionales	Pr	Pr
9420 Actividades de sindicatos de empleados.	Pr	Pr
9491 Actividades de asociaciones religiosas.	Pr	Pr
9492 Actividades de asociaciones políticas.	Pr	Pr
9499 Actividades de otras asociaciones n.c.p.	Pr	Pr
9511 Mantenimiento y reparación de computadores y de equipo periférico.	C	Pr
9512 Mantenimiento y reparación de equipos de comunicación.	C	Pr
9521 Mantenimiento y reparación de aparatos electrónicos de consumo.	C	Pr
9522 Mantenimiento y reparación de aparatos y equipos domésticos y de jardinería.	C	Pr
9523 Reparación de calzado y artículos de cuero.	C	Pr
9524 Reparación de muebles y accesorios para el hogar.	C	Pr
9529 Mantenimiento y reparación de otros efectos personales y enseres domésticos.	C	Pr
9601 Lavado y limpieza, incluso la limpieza en seco, de productos textiles y de piel.	C	Pr
9602 Peluquería y otros tratamientos de belleza.	C	Pr
9603 Pompas fúnebres y actividades relacionadas.	Pr	Pr Solo como sala de velación
9609 Otras actividades de servicios personales n.c.p.	Pr	Pr
9900 Actividades de organizaciones y entidades extraterritoriales	Pr	Pr

Tabla 112. Usos del suelo Plan Parcial Aranda Central
Fuente: Este estudio con base en POT Pasto, Acuerdo 004 de 2015

Los usos que no se encuentran en la anterior tabla se consideran como prohibidos y por lo tanto no podrán ser desarrollados dentro del ámbito del Plan Parcial.

3.1.6.6 Estacionamientos

La provisión de estacionamientos para el área de intervención acoge el número de parqueaderos establecido en el artículo 311 del Acuerdo 004 de 2015, como máximo permitido dentro de la propuesta así:

Exigencias de parqueaderos para vivienda.			
Uso	Categoría	Cuota Mínima de Parqueo VIS - VIP	Cuota Mínima de Parqueo Vivienda No VIS
Vivienda	Unidad de Vivienda	1 por cada 10 en VIP 1 por cada 10 en VIS	1 por cada vivienda
	Visitante	1 por cada 30 viviendas (VIP) 1 por cada 20 viviendas (VIS)	1 por cada 15 viviendas
	Motocicletas	1 por cada 30	1 por cada 40
	Bicicletas	1 por cada 30	1 por cada 40

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 113. Exigencias de parqueaderos para vivienda
Fuente: SIG -SPM 2023

Exigencias de parqueaderos para otros usos.		
Uso	Grupo	Cuota Mínima de Parqueo Para Automóviles
Comercio y Servicios	Oficinas	1 x cada 50 m2 construidos
	Grandes Superficies	1 x cada 35 m2 construidos
	Almacenes Departamentos	por 1 x cada 40 m2 construidos
	Hoteles	1 x cada 50 m2 construidos
Institucional	Seguridad, Justicia y Convivencia	1 x cada 50 m2 construidos de área de atención al público

Tabla 114. Exigencias de parqueaderos para otros usos
Fuente: SIG -SPM 2023

La solución de estacionamientos podrá efectuarse mediante edificios en altura, en superficie y en sótano, siempre al interior de los predios.

3.2 GESTIÓN, FINANCIACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA INTERVENCIÓN.

3.2.1 Reparto de cargas y beneficios